

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО КУРСУ «КАБЕЛЬНЫЕ И ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ»

(для студентов IV курса дневной, и заочной форм обучения специальности
6.090603 - “Электротехнические системы электропотребления”)

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Кабельные и воздушные линии электропередачи» (для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения специальности 6.090603 - «Электротехнические системы электропотребления»). / Сост. Дьяков Е.Д., - Харьков: ХНАГХ, 2007г. – 76 с.

Составитель: доц., к. т. н. Е.Д. Дьяков

Рецензент: проф., д. т. н. О.Г. Гриб

Рекомендовано кафедрой «Электроснабжение городов»,
Протокол № 3 от 10.10.07.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

1.1 Цель работы

Изучить конструкции силовых кабелей, их основные конструктивные элементы и функциональное назначение.

1.2 Общие положения

Кабели, предназначенные для передачи и распределения электрической энергии, называются силовыми. Они состоят из следующих основных конструктивных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов. Кроме основных элементов в конструкцию силовых кабелей могут входить экраны, нулевые жилы, жилы защитного заземления и заполнители.

Токопроводящие жилы предназначены для прохождения электрического тока. Они бывают основными и нулевыми.

Основные жилы предназначены для выполнения основной функции кабеля – передачи по ним электроэнергии.

Нулевые жилы используются для протекания разности токов фаз при неравномерной их нагрузке. Присоединяются они к нейтрале источника тока.

Жилы защитного заземления являются вспомогательными жилами кабеля и предназначены для соединения не находящихся под рабочим напряжением металлических частей электроустановок, к которым подключен кабель с контуром защитного заземления источника тока.

Изготавливаются токопроводящие жилы из меди или алюминия. Сопротивление медной токопроводящей жилы, пересчитанное на 1 мм^2 номинального сечения, 1 метр длины и приведенное к температуре 20°C должно быть не более $0,0178 \text{ Ом}$, алюминиевой жилы – не более $0,029 \text{ Ом}$.

Токопроводящие жилы могут быть круглыми или фасонными (секторные, сегментные или другой формы). Применение секторных и сегментных жил вместо круглых приводит к уменьшению диаметра кабеля на 20-25% и соответ-

ственно к сокращению расхода материалов на изоляцию, оболочку и защитные покровы.

Круглые и фасонные жилы изготавливаются однопроволочными и многопроволочными. Сечения жил силовых кабелей показаны на рис.1.1.

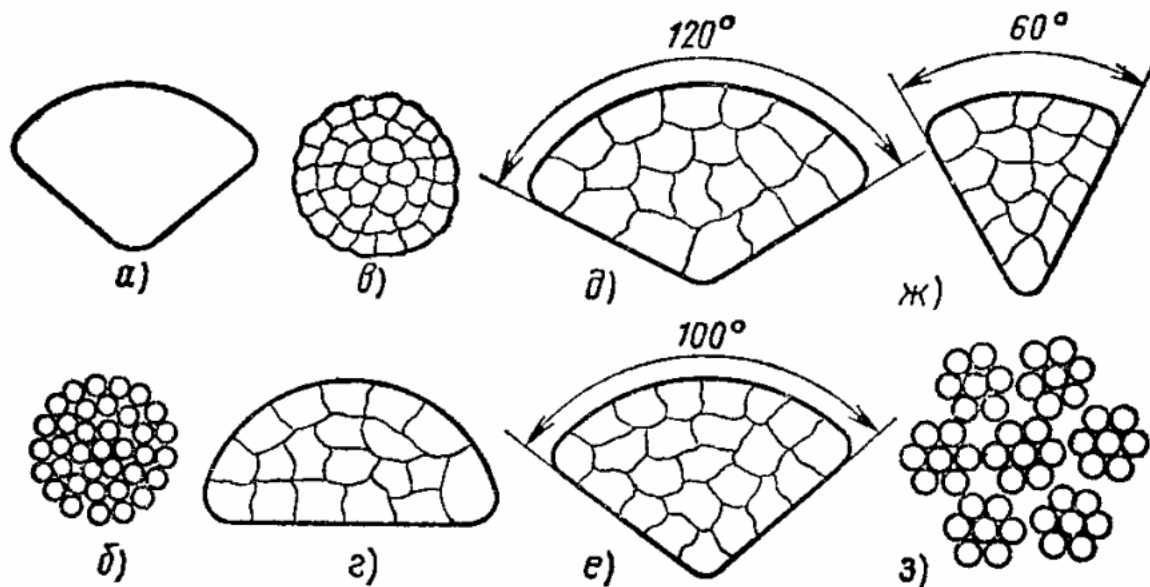


Рис. 1.1 - Сечения токопроводящих жил кабелей

а — секторная однопроволочная жила; б — круглая многопроволочная неуплотненная жила; в — круглая многопроволочная уплотненная жила, г — секторная многопроволочная уплотненная жила для двухжильных кабелей; д — секторная многопроволочная уплотненная жила для трехжильных кабелей; е — секторная многопроволочная уплотненная жила для четырехжильных кабелей; ж — секторная многопроволочная уплотненная нулевая жила для четырехжильных кабелей; з — многопроволочная жила сложной правильной концентрической скрутки из семи стренг

Номинальные сечения основных, нулевых и жил защитного заземления приведены в табл.1.1. Приложения.

Изоляция служит для обеспечения необходимой электрической прочности токопроводящих жил кабеля по отношению друг к другу и к заземленной оболочке (земле).

Изоляция расположенная непосредственно на токоведущей жиле называется изоляцией жилы.

Изоляция многожильного кабеля, наложенная поверх изолированных скрученных жил называется поясной изоляцией.

В силовых кабелях используется бумажная пропитанная и пластмассовая изоляции.

Бумажная пропитанная изоляция – это многослойная изоляция из лент кабельной бумаги, наложенная в виде обмотки на токоведущую жилу и пропитанная изоляционным составом.

В кабелях на напряжения до 10 кВ применяется однослойная кабельная бумага марок К – 080, К – 120, К – 170 (толщина бумаги соответственно 0,08, 0,12, и 0,17мм).

В зависимости от вязкости пропиточного состава кабели с бумажной изоляцией изготавливаются с вязким, обедненным и нестекающим пропиточными составами. Для пропитки используется маслоканифольный составы марки МП-3 или МП-5 содержащие в разных пропорциях канифоль, полиэтиленовый воск и нефтяное масло.

Пластмассовая изоляция в виде сплошного слоя выполняется из поливинилхлорида, полиэтилена, этиленпропилена или сшитого полиэтилена.

Основным требованием, которое предъявляется к изоляции силовых кабелей, является высокая электрическая прочность. Увеличение электрической прочности изоляции, позволяет уменьшить её толщину, что соответственно улучшает отвод тепла от жилы, разрешает увеличивать рабочий ток, уменьшает расход материалов на изготовление кабеля, а также повышает его гибкость. При конструировании силовых кабелей используются специальные технические решения, которые позволяют регулировать электрическое поле, воздействующее на изоляцию, например, применение градированной изоляции, экранов и т.д. Как правило, электрическое поле в силовом кабеле неоднородно. Неоднородность поля характеризует отношение:

$$K_n = E_{\text{макс}}/E_{\text{ср}}, \quad (1.1)$$

где K_n – коэффициент неоднородности; $E_{\text{макс}}$ и $E_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное и среднее значение напряженности электрического поля.

Различают слабо неоднородные ($K_n < 3$) и резко неоднородные ($K_n > 3$) электрические поля. Условием нормальной работы изоляции является соотношение

$$K_n E_{\text{ср}} < E_{\text{доп}}, \quad (1.2)$$

где $E_{\text{доп}}$ – допустимая напряженность, при которой в изоляции отсутствуют разряды в процессе воздействия испытательного или рабочего напряжения $U_{\text{возд}}$.

Для выполнения этого условия толщина изоляции Δ между жилами и между жилой и оболочкой должна быть в K_n раз больше, чем в однородном поле

$$\Delta > (U_{\text{возд}} / E_{\text{доп}}) K_n \quad (1.3)$$

Напряженность электрического поля в изоляции одножильного экранированного кабеля на поверхности радиусом r_x равна

$$E = \frac{U}{r_x \ln \frac{R}{r_1}} \quad (\text{кВ/мм}), \quad (1.4)$$

где U – напряжение между жилой и металлической оболочкой, кВ;

r_1 – радиус жилы или проводящего экрана поверх жилы, мм;

R – радиус по изоляции, мм.

Напряженность электрического поля у токопроводящей жилы радиусом r_1 будет максимальной, а напряженность у металлической оболочки радиусом R – минимальной.

Средняя напряженность электрического поля в изоляции составляет

$$E_{\text{ср}} = \frac{U}{R - r_1} \quad (\text{кВ/мм}). \quad (1.5)$$

Коэффициент использования изоляции определяется по формуле

$$\eta = \frac{r_1}{R - r_1} \ln \frac{R}{r_1} \quad (1.6)$$

Величину максимальной напряженности электрического поля у поверхности жилы в трёхжильном кабеле с круглыми жилами при равной толщине жилой и поясной изоляции определяют следующим образом

$$E_{\text{макс}} = U_{\text{л}} \left(\frac{1}{2\Delta_{\text{из}}} + \frac{0,18}{r_1} \right) \quad (\text{кВ/мм}). \quad (1.7)$$

Экраны предназначены для выравнивания электрического потенциала вдоль изоляционной конструкции, а также для защиты внешних цепей от влияния электрических полей токов, протекающих по кабелю. В кабелях на напряжения 6-10 кВ с бумажной изоляцией экраны располагаются на поясной изоляции. В качестве экранов применяется электропроводящая кабельная бумага марок КПУ –80 и КПУ-120.

В кабелях с пластмассовой изоляцией напряжением 6 кВ экраны накладываются на жилы и на поясную изоляцию. При этом материал экрана и изоляции должен быть одинаковым, чтобы в процессе эксплуатации между экраном и изоляцией не образовывалось пустот.

Заполнители используются для устранения свободных промежутков между конструктивными элементами кабеля с целью герметизации, придания необходимой формы и механической устойчивости конструкции. В качестве заполнителей в кабелях с бумажной изоляцией применяются жгуты из сульфатной бумаги, пропитанной кабельной пряжи или штапельированной стеклопряжи. Для кабелей с пластмассовой изоляцией заполнение должно быть: при изоляции из полиэтилена, самозатухающего, вулканизирующего полиэтилена – из материала изоляции или из поливинилхлоридного пластиката; при изоляции из поливинилхлоридного пластиката – из поливинилхлоридного пластиката. Кабели с пластмассовой изоляцией на напряжение 1 кВ допускается выполнять без заполнителей.

Оболочки предназначены для предотвращения проникновения в изоляцию влаги, защиты её от воздействия света, различных химических веществ, а также предохранения от механических повреждений. В кабелях с бумажной изоляцией оболочки изготавливаются из свинца или алюминия.

Свинцовые оболочки изготавливаются из свинца марок С-2 и С-3 с добавлением различных присадок, например, сурьмы. Алюминиевые оболочки изготавливаются прессованными из алюминия марки А или сварными из алюминия марки АД1.

Пластмассовые - поливинилхлоридные и полиэтиленовые оболочки отличаются от изоляционного состава соответствующим подбором пластификаторов и стабилизаторов, которые обеспечивают повышенную стойкость против светового старения. Кроме того, эти оболочки более стойки к агрессивным средам по сравнению с алюминиевыми и свинцовыми.

Защитные покровы предназначены для защиты оболочки кабеля от внешних воздействий. В зависимости от конструкции кабеля в защитные покровы входят подушка, бронепокров и наружный покров.

Подушка – часть защитного покрова, наложенная на оболочку и предназначенная для предохранения оболочки от повреждения её лентами или проволокой брони.

Бронепокров – часть защитного покрова, состоящая из металлических лент или проволок и используемая для защиты кабеля от внешних механических воздействий.

Наружный покров – часть защитного покрова кабеля предназначенного для защиты брони от коррозии и выполненная из защитного шланга, выпрессованного из пластмассы или из волокнистых материалов, пропитанных специальным противогнилостным или негорючим составом.

Различным конструктивным элементам силовых кабелей присвоены буквенные индексы, которые приведены в табл.1.2. Приложения.

1.3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкциями силовых кабелей выпускаемых различными заводами – изготовителями.

2. На лабораторных стендах изучить основные конструктивные элементы силовых кабелей.

3. Изучить буквенные индексы, которые присваиваются различным конструктивным элементам силовых кабелей.

4. Сделать эскизы поперечных сечений силовых кабелей с различными формами токопроводящих жил.

5. Составить таблицу основных технических характеристик выбранных марок кабелей.

6. Провести расчёт максимальной и средней напряжённостей электрического поля минимум для двух различных сечений токопроводящей жилы одной выбранной марки кабеля.

7. Постройте график зависимости максимальной напряженности от толщины изоляции для выбранной марки кабеля.

1.4 Контрольные вопросы

1. Перечислите основные конструктивные элементы силовых кабелей и укажите их основные функции.
2. Объясните, в чём заключается принципиальное отличие силовых кабелей от электрических шнуров и контрольно-измерительных кабелей.
3. Опишите конструкции токопроводящих жил силовых кабелей.
4. Перечислите ряд номинальных сечений токопроводящих жил силовых кабелей.
5. Укажите отличия между нулевыми, токопроводящими и жилами защитного заземления.
6. Объясните, какие функции выполняет оболочка в силовых кабелях, и из каких материалов она изготавливается.
7. Перечислите основные виды изоляции, которые используются в силовых кабелях.
8. Опишите, как выполняется градирующая изоляция.
9. Укажите, какие функции выполняет поясная изоляция и где она размещается в силовом кабеле.
10. Объясните назначение экранов в силовых кабелях и перечислите материалы, из которых они изготавливаются.
11. Перечислите способы, с помощью которых осуществляется регулирование электрического поля в силовых кабелях.

12. Укажите, с какой целью в силовых кабелях применяются уплотнённые жилы.
13. Объясните, как определить коэффициент использования изоляции.
14. Перечислите материалы, из которых изготавливают изоляцию силовых кабелей.
15. Перечислите буквенные индексы, которые используются для обозначения изоляции в марках силовых кабелей.
16. Перечислите буквенные индексы, которые используются для обозначения оболочки в марках силовых кабелей.
17. Перечислите буквенные индексы, которые используются для обозначения брони в марках силовых кабелей.
18. Перечислите буквенные индексы, которые используются для обозначения наружного покрова в марках силовых кабелей.
19. Приведите формулу, с помощью которой определяется максимальное значение напряженности электрического поля в трёхжильном кабеле.
20. Приведите формулу, с помощью которой определяется напряженность электрического поля в изоляции одножильного кабеля.

Литература: [1,2]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

2.1 Цель работы

Изучить методику измерения сопротивления изоляции силовых кабелей. Получить навыки работы с мегаомметрами, которые рекомендуется применять для проведения измерений.

2.2 Общие сведения

Измерение сопротивления изоляции кабельных линий (КЛ) рекомендуется производить мегаомметром на напряжение 2500 В. Выполнять измерения разрешается только на отключенных и разряженных КЛ.

Измерения сопротивления изоляции одножильных кабелей без металлического экрана (брони, оболочки), проложенных в земле, производятся между жилой и землей; для одножильных кабелей, проложенных на воздухе, сопротивление изоляции не измеряется. Измерение изоляции одножильных кабелей с металлическим экраном (оболочкой, броней) производится между жилой и экраном.

Измерение изоляции многожильных кабелей без металлического экрана (брони, оболочки) производится между каждой жилой и остальными жилами, соединенными между собой. Измерение изоляции многожильных кабелей с металлическим экраном (броней, оболочкой) производится между каждой жилой и остальными жилами, соединенными вместе и с металлическим экраном (броней, оболочкой). Технологическая схема измерений следующая:

- $A - B + C + \text{оболочка}$;
- $B - C + A + \text{оболочка}$;
- $C - B + A + \text{оболочка}$.

Электрическая схема измерения сопротивления изоляции кабеля с металлической броней приведена на рис 2.1.

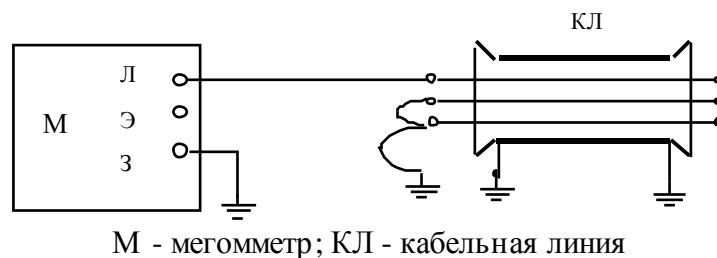


Рис.2.1- Схема электрических соединений для измерения сопротивления изоляции жил кабеля

Перед первыми повторными измерениями КЛ должна быть разряжена путем соединения всех металлических элементов между собой и землей не менее чем на 2 мин.

Отсчет значений сопротивления изоляции производится по истечении одной минуты с момента приложения напряжения. Кабельная линия напряжением до 1 кВ считается выдержавшей испытания, если сопротивление изоляции составляет не ниже 0,5 МОм.

При проведении измерений следует учитывать специфику влияния различных внешних факторов на величину сопротивления изоляции. Одним из таких факторов является температура. При её повышении в большинстве диэлектриков, используемых в качестве электрической изоляции, увеличивается количество свободных носителей зарядов, что приводит к снижению сопротивления. В связи с этим однозначно сделать вывод о состоянии качества изоляции весьма затруднительно.

Другим, распространенным фактором, оказывающим влияние на сопротивление изоляции, является её влажность. При повышении влагопоглощения происходит существенное уменьшение сопротивления изоляции.

Большинство используемых электроизоляционных материалов являются гигроскопичными, то есть способными впитывать влагу из окружающей среды, что вносит дополнительную погрешность в реальную величину сопротивления изоляции. На практике для оценки состояния изоляции целесообразно использовать коэффициент абсорбции

$$K_{абс} = \frac{R''_{60}}{R''_{15}}, \quad (2.1)$$

где R'_{15} и R''_{60} - значения сопротивления изоляции, измеренные соответственно через 15 и 60 секунд после приложения напряжения.

Значение $K_{абс}$ для влажной изоляции находится в пределах 1,0 – 1,2, для сухой изоляции – 1,2 -1,7 и выше.

Для измерения сопротивления изоляции оборудования в сетях 0,4 кВ используются мегаомметры с выходным напряжением не менее 1000 В, а в сетях 6 кВ и выше - мегаомметры с выходным напряжением 2500 В. В связи с процессом поляризации, протекающем в изоляции величина измеряемого сопро-

тивления зависит от времени приложения напряжения. Эквивалентная схема замещения изоляции оборудования представлена на рис.2.2.

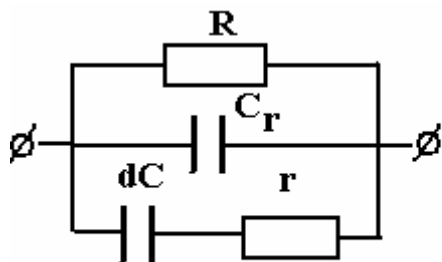


Рис. 2.2 - Схема замещения изоляции оборудования

Сопротивление R обусловлено протеканием в изоляции тока утечки. Ёмкость C_r – эквивалентна геометрической ёмкости оборудования, которое подвергается испытанию (трансформатор, электродвигатель). Величина её, как правило, незначительна и находится в пределах от нескольких сотен до нескольких тысяч пикофард. В связи с этим такая ёмкость полностью зарядится за время ограниченное 15 секундами (R''_{15}). Силовые кабели обладают значительной геометрической ёмкостью, поэтому с целью уменьшения погрешности на величину коэффициента абсорбции их рекомендуется отключать от испытываемого оборудования.

Последовательная цепочка dC и r эквивалентна сопротивлению цепи в результате протекания абсорбционных токов. При использовании для изоляции качественных диэлектриков, не содержащих примесей и влаги, для заряда ёмкости потребуется значительный промежуток времени. На практике это время ограничивают 60 секундами (R''_{60}).

В процессе измерения может быть установлена асимметрия значений сопротивлений, причиной которой явиться увлажнение и загрязнение концевых муфт КЛ. Для её устранения используется пропитка.

Значение сопротивления изоляции КЛ напряжением выше 1 кВ не нормируется.

2.3. Схемы и средства измерений

Сопротивление изоляции определяется по току, проходящему через нее,

при приложении напряжения постоянного тока. При напряжениях до нескольких киловольт для измерения применяются мегаомметры. При более высоких напряжениях используются источники выпрямленного напряжения, и измеряется ток проводимости - величина, обратная сопротивлению.

Мегаомметр (рис.2.3) состоит из источника напряжения постоянного тока и измерительного прибора, измеряющего ток I_x через изоляцию объекта. Шкала прибора градуируется в значениях сопротивления; для этого напряжение источника U должно быть стабильным. Применяются и логометрические измерители, показания которых пропорциональны частному от деления напряжения на измеряемый ток. Объект с сопротивлением изоляции R_x и емкостью C_x присоединяется к выводам " r_x " и "-" мегаомметра. Вывод "Э" предназначен для присоединения цепей экранирования (их сопротивление относительно вывода " r_x " обозначено резистором R_n). Схемы включения мегаомметра - прямая и перевернутая: соответственно заземляются выводы "Э" или "-". Наиболее часто применяется перевернутая схема включения.

Экранирование применяется в случаях, когда необходимо исключить влияние поверхности изоляционной конструкции или ограничить область контролируемой изоляции. Для исключения влияния состояния поверхности на наружной части изоляционной конструкции около электрода, соединенного с выводом " r_x " мегаомметра, устанавливается экранирующее кольцо из мягкого провода, соединяемое с выводом "Э". Для ограничения контролируемой области изоляции потенциал экрана мегаомметра подается на соответствующий электрод (рис.2.4)

Сопротивление, включенное между выводами "Э" и " r_x " (R_n , см. рис.2.3), в схемах с экранированием шунтирует измерительный элемент мегаомметра, чем может внести недопустимую погрешность в измерения. Наименьшее допустимое значение этого сопротивления нормируется; оно не должно быть меньше 1% конечного (наибольшего) значения шкалы на данном пределе измерений. Желательно чтобы сопротивление цепей экранирования в 50-100 раз было больше, чем сопротивление измерительного элемента мегаомметра (резистор R_0 см. рис 2.3).

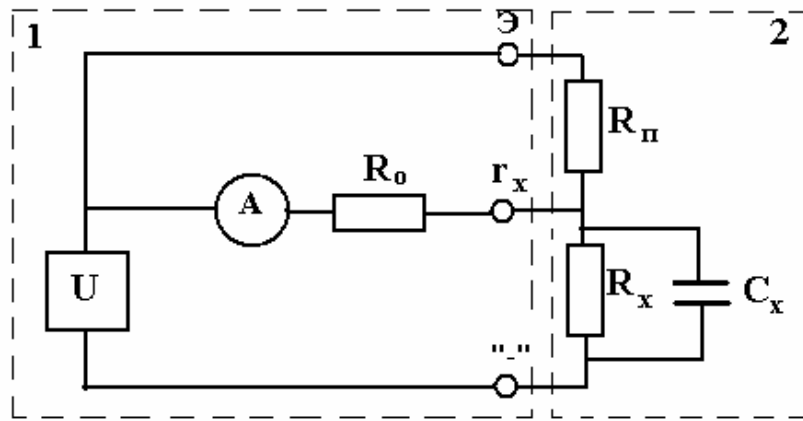


Рис.2.3 - Схема измерений мегаомметром.
1 — средство измерений. 2 — объект,
U — источник напряжения, A — измеритель тока

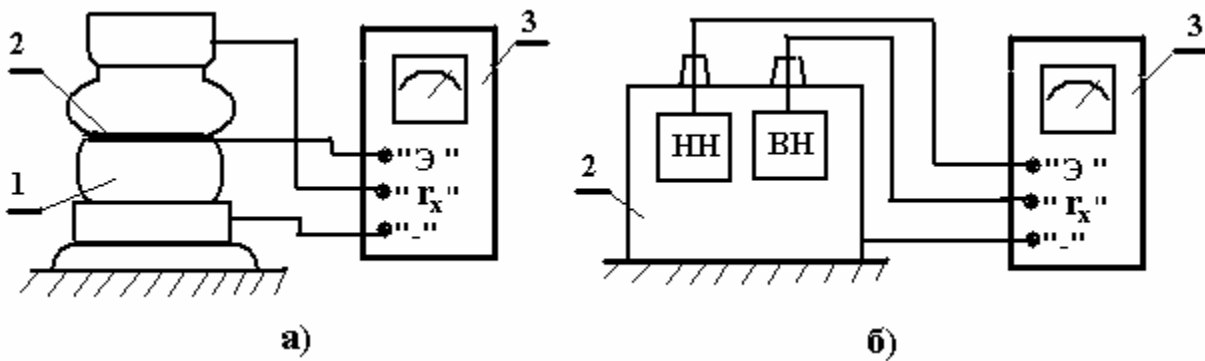


Рис. 2.4 - Экранирование при измерении сопротивления изоляции:
а- исключение влияния поверхности изоляции; б - исключение влияния изоляции обмотки НН трансформатора; 1 - объект; 2 - экранирующее кольцо (бандаж);
3 – мегаомметр

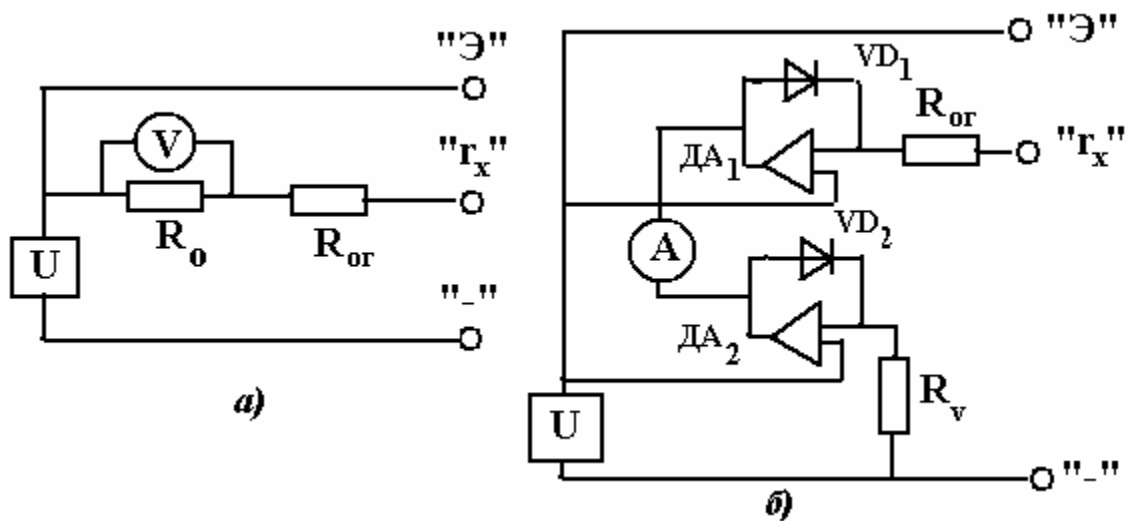


Рис.2.5 - Структурные схемы мегаомметров

В качестве измерительного элемента в большинстве мегаомметров используется вольтметр, измеряющий падение напряжения U_0 на образцовом резисторе R_0 от измеряемого тока (рис. 2.5, а). Этот резистор служит и для изменения пределов измерения. Шкала прибора, измеряющего напряжение U_0 , градуирована в единицах сопротивления.

В современных мегаомметрах применяются измерители тока на операционных усилителях, которые позволяют реализовать логометрические схемы измерений. В такой схеме (рис. 2.5, б) ток на выходе операционного усилителя DA_1 определяется током I_x объекта, а ток на выходе второго усилителя DA_2 - током I_u , пропорциональным напряжению U . Усилители выполнены логарифмирующими и измеряемая прибором разность их токов не зависит от напряжения; шкала прибора - логарифмическая.

Основные характеристики выпускаемых промышленностью мегаомметров приведены в табл. 3 Приложения.

2.4. Приборы и оборудование

В данной лабораторной работе для измерения сопротивления изоляции силового кабеля используется мегаомметр Ф4102/2-1М. Диапазон измерений сопротивления изоляции, значения напряжения на зажимах прибора при разомкнутой внешней цепи и участки диапазонов с относительной погрешностью, не превышающей 15%, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики мегаомметра Ф4102/2-1М

Условное обозначение мегаомметра	Диапазон измерений сопротивления изоляции, не менее, МОм	Участки диапазона с пределом, допустимого значения относительной погрешности 15%, МОм	Напряжение, В
Ф4102/2-1М	0-2000 0-20000	75-1000 750-4000	1000 ± 50
	0-5000 0-50000	187,5-2500 1875-10000	$2500 \pm 122,5$

Класс точности прибора 1,5 по ГОСТ 8.401-80. Предел основной, приведенной погрешности равен $\pm 1,5\%$ от длины шкалы. Длина шкалы не менее 88 мм.

Предел допустимого значения дополнительной погрешности, вызванной протеканием по схеме измерения токов промышленной частоты не превышающих 350мкА (при измерительных напряжениях 500, 1000 и 2500В) равен пределу допустимого значения основной погрешности.

Время установления показаний прибора не превышает 8 с.

Время заряда емкости объекта, величиной не более 0,5 мкф, не превышает 15 с.

Время установления рабочего режима составляет 4 с.

Режим мегаомметра прерывистый: измерение – более 1 мин, пауза – не менее 2 мин.

Питание мегаомметра осуществляется от сети переменного тока напряжением 220В частотой 50Гц. А также от встраиваемых химических источников постоянного тока (9 элементов А373). Встроенный источник питания до смены батарей в нормальных условиях эксплуатации может обеспечить до 250 измерений при проведении не более 50 измерений в день.

Мегаомметр имеет световую индикацию. О включении и подачи высокого напряжения сигнализирует индикатор ВН, а для контроля работоспособности химических источников тока – индикатор КП.

Мегаомметр сохраняет работоспособность при температурах окружающего воздуха от минус 30 до плюс 50°С и относительной влажности 90% при температуре плюс 30°С.

Рабочее положение – горизонтальное расположение плоскости шкалы.

На передней панели расположены: отсчётное устройство; зажимы для подключения измеряемого объекта; органы управления; индикаторы ВН и КП; розетка для подключения шнура при питании от сети.

На нижней панели расположен отсек для размещения сетевого блока питания или химических источников тока.

Мегаомметр построен по последовательной схеме измерения и состоит из следующих узлов: преобразователь и измерительный усилитель. Преобразователь предназначен для преобразования напряжения питания в постоянное напряжение нужной величины. Напряжение с выходных обмоток трансформатора преобразователя через переключатель подаётся на выпрямитель с умножением. Полученное напряжение стабилизируется компенсационным стабилизатором.

Измерительный усилитель (логарифмический усилитель) предназначен для осуществления компрессии входного сигнала и состоит из операционного усилителя, в обратную связь которого включен транзистор. Для уменьшения температурной погрешности усилителя температура транзистора обратной связи поддерживается постоянной путем активного термостатирования.

2.5. УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

Внимание! Не приступайте к измерениям, не убедившись в отсутствии напряжения на измеряемом объекте.

При проведении измерений сопротивления изоляции должны выполняться требования безопасности, изложенные в «Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

2.6. Порядок выполнения работы

1. Снять крышку прибора и закрепить её на боковой стенке в предусмотренных гнездах.
2. В отсек питание установить сетевой блок питания – при питании от сети или 9 элементов А373 – при питании от химического источника тока.
3. К клемме « - » подключить шнур соединительный №1, к клемме с охраняемым кольцом и к клемме \ominus подключить шнур соединительный №7 в соответствии с маркировкой.
4. Корректором измерительного механизма установить указатель на отметку « ∞ ».

5. Установить переключатель измерительных напряжений в положение указанное преподавателем. При разомкнутых зажимах «г_х», нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и установить ручкой «УСТАН. ∞» указатель мегаомметра на отметку «∞».

6. Замкнуть зажимы «г_х», нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и установить ручкой «УСТАН. 0» указатель прибора на отметку «0», а затем, нажав обе кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ II», проверить установку указателя на отметку «0». В случае отклонения указателя от отметки «0», установить указатель в первом и во втором случае так, чтобы отметка «0» оказалась посередине этих двух показаний.

Допускается операции, указанные в п.п. 5 и 6 проводить отдельно по шкале I и по шкале II.

7. Убедившись в отсутствии напряжения на объекте, подключите объект, указанный преподавателем к зажимам «г_х». При необходимости экранировки, для уменьшения влияния токов утечки, экран объекта подсоединить к зажиму «Э» соединительным шнуром №4.

8. Для проведения измерений нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1», подав тем самым на объект высокое напряжение. На время измерения держать кнопку нажатой. После установления указателя произвести отсчёт значения измеряемого сопротивления по шкале I. Результаты измерения записать в таблицу 2.2.

При необходимости проведения измерений с повышенной точностью, не отпуская кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1», нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ II» и сделать отсчёт измеряемого сопротивления по шкале II.

В приборе применена электрическая установка нуля, поэтому указатель прибора может отклоняться за пределы рабочей части шкалы и доходить до упора. В связи с малым противодействующим моментом растяжки прибора иногда наблюдается «прилипание» указателя к упору, которое устраняется легким постукиванием по корпусу прибора.

Загорание индикатора КП свидетельствует о необходимости замены химических источников тока. При питании от сети допускается свечение индикатора КП.

Таблица 2.2 - Результаты экспериментальных и расчётных значений

Рабочий режим							Примечание
R_{AO}	R_{BO}	R_{CO}	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	$K_{абс}$	
Аварийный режим							
R_{AO}	R_{BO}	R_{CO}	R_{AB}	R_{BC}	R_{CA}	$K_{абс}$	

2.8. Контрольные вопросы

1. Укажите условия, при которых в силовых кабелях не производят замера сопротивления изоляции.
2. Приведите определение коэффициента абсорбции и укажите, в каких пределах он изменяется.
3. Объясните, как необходимо проводить измерения сопротивления изоляции с повышенной точностью?
4. Перечислите марки приборов, используемых для измерения сопротивления изоляции.
5. Укажите факторы, оказывающие влияние на величину измеряемого сопротивления изоляции.
6. Приведите электрическую схему замещения изоляции.
7. Укажите способы уменьшения погрешности измерения изоляции.

Литература: [2]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗМЕРЕНИЕ ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ И ЁМКОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

3.1 Цель работы

Изучить методику экспериментального определения тангенса угла диэлектрических потерь, емкости изоляции силовых кабелей и оценить влияние внешних факторов на данные параметры.

3.2. Общие положения

На величину допустимого тока нагрузки в силовых кабелях, особенно с бумажной пропитанной изоляцией, существенное влияние оказывают диэлектрические потери. При напряжении 220 кВ величина этих потерь может достигать 50% потерь в токопроводящих жилах.

Диэлектрическими потерями называют электрическую мощность, рассеиваемую в изоляции в единицу времени под действием приложенного напряжения и вызывающую нагрев изоляции.

Диэлектрические потери в изоляции одной фазы участка кабеля, имеющего емкость C при переменном напряжении U и частоте $\omega = 2\pi f$ равны

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad \text{Вт/м} \quad (3.1)$$

где $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь равный отношению активного и реактивного токов

$$\operatorname{tg} \delta = I_a / I_p \quad (3.2)$$

Величина обратная $\operatorname{tg} \delta$ называется добротностью изоляции Q .

При повышении температуры диэлектрические потери увеличиваются вследствие увеличения тока проводимости и тока абсорбции. Когда диэлектрические потери обусловлены дипольной поляризацией, в кривой $\operatorname{tg} \delta = f(T)$ наблюдается максимум. Если изоляционные материалы состоят из двух или большего количества дипольных веществ, в этой зависимости наблюдается несколько максимумов.

У гигроскопичных материалов $\operatorname{tg} \delta$ заметно возрастает при увеличении

влажности.

Повышение напряжения сопровождается увеличением $tg\delta$, что связано с ионизацией газовых включений в изоляции. По изменению $tg\delta$ можно судить о качестве изоляции.

Удельные диэлектрические потери определяются по формуле

$$p = E^2 \omega \epsilon_0 \epsilon_r \operatorname{tg} \delta, \quad (3.3)$$

где E – напряженность электрического поля; ϵ_0 – электрическая постоянная; $\epsilon_r \operatorname{tg} \delta$ – коэффициент диэлектрических потерь

На величину диэлектрических потерь оказывает также влияние время нахождения кабеля под напряжением.

Ёмкость одной фазы силового кабеля на единицу длины для круглых жил и неградированной изоляции определяется по формуле

$$C = \frac{10^{-9} \epsilon_r}{18 \ln(D/d_{\text{ж}})}, \quad \text{Ф/м} \quad (3.4)$$

где D – диаметр кабеля по фазной изоляции; $d_{\text{ж}}$ – диаметр токоведущей жилы

Для градированной изоляции значение ёмкости определяется по формуле

$$C = \frac{10^{-9}}{18 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} * \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (3.5)$$

Значения ϵ_r и $tg\delta$ при максимально допустимых температурах и максимально возможных для каждого кабеля напряжениях приведены в Приложении (табл. 4).

Ёмкость трёхжильного кабеля с секторными жилами можно определить приближенно по приведенным формулам с заменой секторных жил на круглые, но с сечением, увеличенным на 50% при той же толщине изоляции.

При включении или выключении постоянного напряжения или при изменении величины приложенного напряжения возникает емкостной ток.

Длительно ёмкостной ток существует только в изоляции, находящейся

под воздействием переменного напряжения.

3.3. Схемы и средства измерений

Для эксплуатационного контроля применяется схема измерений с мостом Шеринга.

Мостовая схема измерений (рис.3.1) состоит из контролируемого объекта с параметрами C_x и $\operatorname{tg} \delta$ (плечо Z_1), образцового конденсатора C_0 (плечо Z_2), цепей уравнивания (плечи Z_3 , Z_4) и указателя равновесия (УР). Измерительным элементом схемы (первичным преобразователем), через который протекает ток объекта, является плечо Z_3 (резистор R_3).

Мост может использоваться при прямой, перевернутой и обратной схемах включения. При прямой схеме заземляется точка 2 моста; при перевернутой схеме — точка 1, а при обратной — точка 3. Обратная схема включения иногда называется схемой с заземленной диагональю.

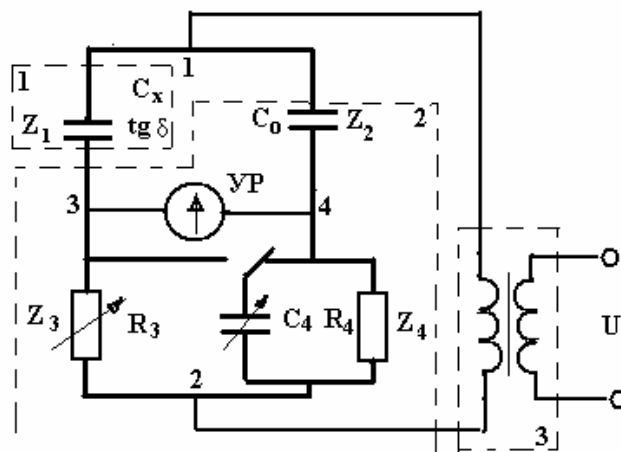


Рис.3.1 - Мостовая схема измерений: 1 – объект контроля; 2 – средство измерений (измерительный мост); 3 – источник напряжения

Процесс измерения заключается в уравнивании (балансировке) мостовой схемы, для чего поочередными изменениями сопротивления резистора R_3 и емкости конденсатора C_4 производят выравнивание напряжений плеч Z_3 и Z_4 моста. При равновесии моста, что устанавливается по отсутствию показаний

указателя равновесия, выполняется равенство $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$, исходя из которого, определяются параметры изоляции контролируемого объекта:

$$\operatorname{tg} \delta = C_4 R_4 \quad \text{и} \quad C_x = \frac{R_4}{R_3} C_0$$

При наличии помех (тока влияний) возможны случаи, когда ток образцового конденсатора отстает по фазе от тока, протекающего по плечу Z_3 моста и являющегося суммой тока объекта и тока помех. При этом для измерения так называемого отрицательного значения $\operatorname{tg} \delta$ конденсатор C_4 следует включать параллельно резистору R_3 ; значение $\operatorname{tg} \delta$ рассчитывается по формуле

$$\operatorname{tg} \delta (-) = -\omega C_4 R_3$$

Серийно выпускаемый измерительный мост Р5026 и образцовый конденсатор Р5023 обеспечивают возможность измерений при высоком напряжении до 10 кВ (три диапазона измерений емкости — А1, А2 и А3) и при низком напряжении (50 В от встроенного трансформатора, диапазоны А4 и А5).

Упрощенная схема моста в диапазонах измерений на высоком напряжении приведена на рис.3.2.

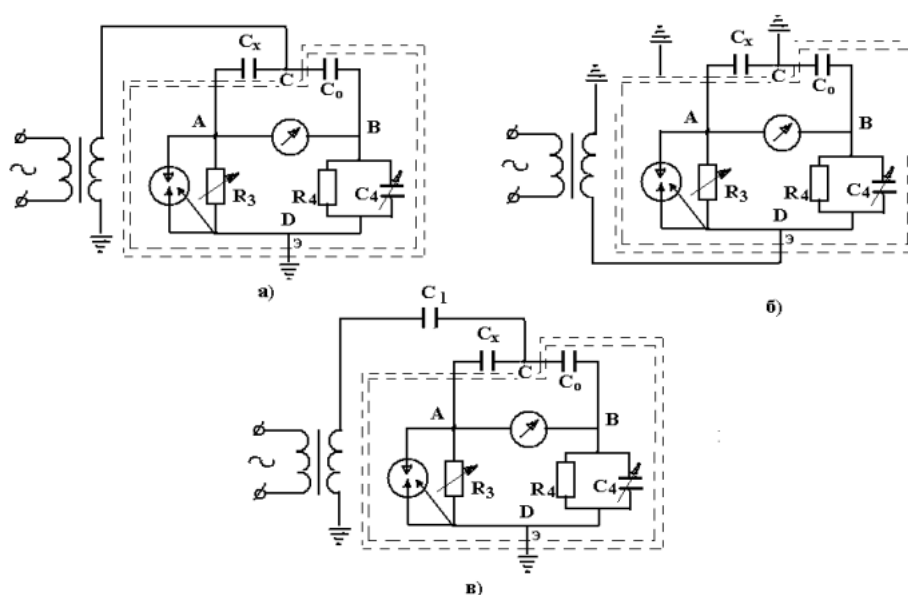


Рис. 3.2 – Схемы измерительного моста Р 5026

- а) «прямая» схема измерений на высоком напряжении; б) «перевернутая» схема измерений на высоком напряжении; в) «прямая» схема измерений на низком напряжении

Все элементы схемы помещены внутри экрана ("Э"), изолированного от заземляемого корпуса на рабочее напряжение моста 10 кВ (для проведения измерений при перевернутой схеме включения).

Основные характеристики моста Р5026 и формулы для расчёта результатов измерений приведены в табл. 5 Приложения.

При измерениях следует выбирать такой шунт (диапазон емкостей), при котором уравнивание производится не менее чем тремя декадами резистора R_3 . Диапазон измеряемых отрицательных значений $\operatorname{tg} \delta$ при включенном шунте (диапазоны емкости А2 и А3) значительно уже, чем при измерениях без шунта. Поэтому при измерениях в условиях интенсивных влияний, когда возможно отрицательное значение $\operatorname{tg} \delta$, мост Р5026 следует использовать в диапазоне А1.

3.4. Порядок выполнения работы

1. Открыть крышку моста и проверить надёжность соединения зажима заземления моста с контуром заземления.

2. Собрать схему для проведения измерений на низком напряжении в соответствии с рис. 3.2.в.

3. Установить органы управления моста в следующие положения:

переключатель « ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ dВ » в положение «ВЫКЛ.»;

переключатели ряда R_3 в положение 50 Ом;

переключатели ряда C_4 в положение 0,001;

переключатель «А» в положение предполагаемого значения измеряемой величины емкости при работе на низком напряжении. Если значение емкости объекта неизвестно, переключатель «А» следует установить в положение измерения наибольшей емкости;

переключатель «Б» в положение «+ $\operatorname{tg} \delta$ ».

4. В присутствии преподавателя включить тумблер «СЕТЬ». При этом должна загореться лампочка освещения шкалы микроамперметра.

5. Рукоятку «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» установить в положение, при котором стрелка микроамперметра отклонится на 30-35 мкА.

6. Вращением ручки «А» переключателя пределов измерения следует выбрать положение, при котором отклонение стрелки микроамперметра будет минимальным. При этой операции не допускается нажимать кнопку «К»!

7. Поочерёдно регулируя сопротивления ряда R_3 и ёмкости ряда C_4 , увеличивая при этом чувствительность указателя равновесия, необходимо добиться положения, при котором стрелка микроамперметра наиболее близко подойдёт к нулевой отметке шкалы.

8. Уравновешивание моста заканчивается при такой чувствительности, при которой изменение R_3 или C_4 на величину равную $1/2$ допустимой основной погрешности, вызывает отклонение стрелки микроамперметра не менее чем на 0,5 мм.

При наибольшей чувствительности уравновешивание производится по минимальному отклонению стрелки микроамперметра.

9. Значения отсчёта C_4 и R_3 запишите в таблицу 3.1 и переведите переключатель полярности «Б» в другое положение не меняя знака.

Таблица 3.1 - Результаты экспериментальных и расчётных значений

Наименование объекта	C_4	R_3	C_x	$\operatorname{tg}\delta$	P_a
-------------------------	-------	-------	-------	---------------------------	-------

10. Проведите определение ёмкости и тангенса угла диэлектрических потерь по формулам, приведенным в таблице.

11. После окончания измерений установите переключатель «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ» в положение «ВЫКЛ» и отключите тумблер «СЕТЬ».

3.5. Контрольные вопросы.

1. Перечислите параметры, с помощью которых можно оценить диэлектрические потери.

2. Приведите эквивалентные схемы замещения, которые используются для изучения диэлектриков с потерями.

3. Назовите процессы, которые вызывают диэлектрические потери в изоляции.
4. Перечислите внешние факторы, которые оказывают влияние на величину диэлектрических потерь.
5. Приведите формулы, используемые для расчёта ёмкости токоведущей жилы силового кабеля.
6. Укажите диапазон изменения относительной диэлектрической проницаемости диэлектрических материалов, используемых в качестве изоляции силовых кабелей.
7. Приведите схемы измерения тангенса угла диэлектрических потерь на высоком напряжении.
8. Перечислите приборы и оборудование, которые используются для измерения $\operatorname{tg}\delta$ и ёмкости изоляции силового оборудования.
9. Перечислите факторы, оказывающие влияние на погрешность измерения $\operatorname{tg}\delta$ и ёмкости изоляции.
10. Назовите материалы, применяемые для изоляции в силовых кабелях, и укажите значения их $\operatorname{tg}\delta$ и ёмкости изоляции.

Литература: [2]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛОСТИ ЖИЛ КАБЕЛЕЙ И ФАЗИРОВКА КЛ

4.1 Цель работы

Приобретение практических навыков при выполнении работ по определению целости токоведущих жил и фазировке кабельных линий.

4.2 Общие положения

Определение целости жил и фазировка КЛ производится при введении в эксплуатацию новых электрических линий, а также после проведения ремонтных работ на действующих линиях.

Сущность фазировки заключается в определении соответствия фазы кабеля, находящейся под напряжением от распределительного устройства с предполагаемой одноименной фазой шин распределительного устройства, где производится фазировка.

Фазовым углом или просто фазой называется угол, характеризующий определённую стадию периодически изменяющегося параметра, в частности э.д.с.

На практике под фазой трёхфазной системы понимают также отдельный участок трёхфазной цепи, по которому проходит один и тот же ток, сдвинутый относительно двух других по фазе.

Для обозначения фаз используются прописные буквы **A**, **B**, **C** или цветовая маркировка. В соответствии с ПУЭ при переменном трехфазном токе шины фазы **A** окрашиваются в жёлтый цвет, фазы **B** – в зелёный цвет и фазы **C** – в красный цвет. Шины однофазного тока, если они являются ответвлением от шин трёхфазной системы, обозначаются как соответствующие шины трёхфазного тока.

Проводники защитного заземления во всех электроустановках, а также нулевые защитные проводники в электроустановках напряжением до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью обозначаются **PE** и имеют цветовое обозначение чередующимися продольными или поперечными полосами одинаковой ширины (15-100 мм) желтого и зеленого цветов.

Защитный (**PE**) проводник это проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

Нулевые рабочие (нейтральные) проводники обозначаются буквой **N** и голубым цветом. Такие проводники в установках до 1 кВ предназначены для питания электроприёмников и соединяются с глухо заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трёхфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, или с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник имеет буквенное обозначение **PEN** и цветовое обозначение голубой цвет по всей дли-

не и желто-зеленые полосы на концах. Этот проводник в электропроводках до 1 кВ совмещает функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

При постоянном токе положительная шина (+) обозначается красным цветом, отрицательная (-) – синим и нулевая рабочая – голубым цветом.

Трёхфазные системы могут отличаться порядком следования фаз, под которым понимается порядок, в котором э.д.с. трёх фаз непрерывно проходит через одни и те же значения. Различают прямой порядок следования фаз, при котором выполняется последовательность следования фаз ***A, B, C*** и обратный - ***A, C, B***.

Следует отличать термины “порядок следования фаз” и “чередование фаз”. Под чередованием фаз понимают очередность, в которой фазы трёхфазной цепи расположены в пространстве. Расположение шин в распределительных устройствах кроме комплектных сборных ячеек одностороннего обслуживания (КСО) и комплектных распределительных устройств (КРУ) 6-10 кВ, а также панелей 0,4-0,69 кВ заводского изготовления, регламентируется ПУЭ. Так, в распределительных устройствах 6-220 кВ при переменном трёхфазном токе сборные и обходные шины, а также все виды секционных шин располагаются в следующем порядке:

а) при горизонтальном расположении:

одна под другой: сверху вниз ***A-B-C***;

одна за другой, наклонно или треугольником: наиболее удаленная шина - ***A***, средняя - ***B***, ближайшая к коридору обслуживания – ***C***.

б) при вертикальном расположении (в одной плоскости или треугольником): слева направо ***A-B-C*** или наиболее удаленная шина ***A***, средняя – ***B***, ближайшая к коридору обслуживания – ***C***.

в) ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания:

при горизонтальном расположении: слева направо ***A-B-C***;

при вертикальном расположении (в одной плоскости или треугольником): сверху вниз ***A-B-C***.

В пяти- и четырехпроводных цепях трёхфазного переменного тока в электроустановках напряжением до 1 кВ предусматривается следующее расположение шин:

а) при горизонтальном расположении:

одна под другой: сверху вниз ***A-B-C-N-PE (PEN)***;

одна за другой: наиболее удалённая шина ***A***, затем фазы ***B-C-N***, ближайшая к коридору обслуживания – ***PE (PEN)***;

б) при вертикальном расположении: слева направо ***A-B-C-N-PE(PEN)*** или наиболее удалённая шина ***A***, затем фазы ***B-C-N***, ближайшая к коридору обслуживания – ***PE(PEN)***;

в) ответвления от сборных шин, если смотреть на шины из коридора обслуживания:

при горизонтальном расположении: слева направо ***A-B-C-N-PE(PEN)***;

при вертикальном расположении: ***A-B-C-N-PE(PEN)*** сверху вниз

Несоблюдение порядка следования фаз и чередования фаз приводит к возникновению короткого замыкания (к.з.). Рассмотрим это на примере рис. 4.1.

На рис.4.1 а) фазы одноименных напряжений совпадают, а порядок чередования обозначений зажимов у выключателя - не совпадают. На рис.4.1б) наоборот приведен вариант, когда порядок чередования фаз совпадает, а фазированные напряжения оказываются сдвинутые по фазе.

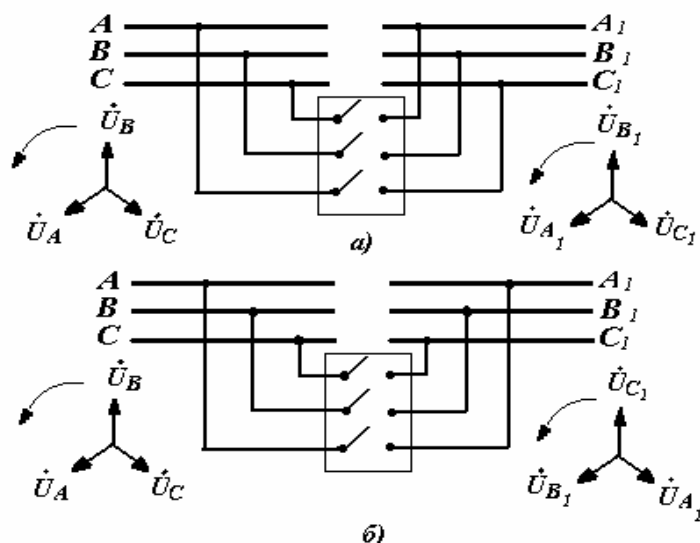


Рис. 4.1- Варианты несовпадения фаз двух электроустановок

Исключить возможность возникновения короткого замыкания возможно при совпадении, как фаз одноименных напряжений, так и порядка их чередования. Вариант такого включения электроустановок приведен на рис.4.2.

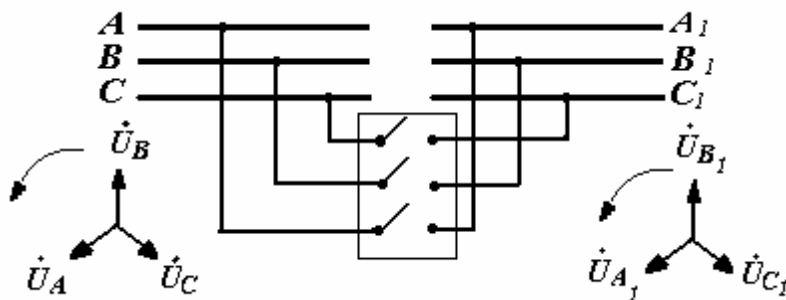


Рис. 4.2 - Вариант совпадения фаз двух электроустановок

Определение токов к.з. и проверка оборудования и линий по термической и динамической стойкости проводится в соответствии с рекомендациями ПУЭ.

Допустимое значение тока к.з. для кабельной линии по условию её термической стойкости определяется в зависимости от материала и сечения жил кабелей, а также длительности прохождения тока к.з. Сечение F , при котором проводник обладает термической стойкостью к току к.з. при заданном значении приведенного времени $t_{\text{п}}$ равно

$$F = I_{\infty} \sqrt{t_{\text{п}}} / C, \quad (4.1)$$

где I_{∞} - действующее значение установившегося тока к.з., А;

C – термический коэффициент, который определяется по формуле

$$C = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ж}} C_{\text{ж}} (T_{\text{кз}} - T_{\text{н}})}{0,24\rho \left\{ 1 + \alpha \left[(T_{\text{н}} - T_{\text{о}}) + \frac{T_{\text{кз}} - T_{\text{н}}}{2} \right] \right\}}}, \quad (4.2)$$

где $T_{кз}$ – допустимая температура жилы при к.з. °C;

$\gamma_{ж}$ – плотность материала жилы, г/см³;

$C_{ж}$ – удельная теплоёмкость жилы, Дж/(кг·K);

ρ – удельное сопротивление жилы, Ом·см;

α – температурный коэффициент материала жилы;

T_n – температура нагрева жилы в нормальном режиме, °C;

T_o – температура окружающей среды, °C.

Значение термического коэффициента C приведены в табл.5 Приложения.

Допустимые значения токов к.з., для кабелей с бумажной изоляцией 6-10 кВ и 100% предварительной нагрузкой указаны в табл.6 Приложения. При расчёте токов к.з. в сетях 6-10 кВ приведенное время может быть принято равным действительному.

Изменение маркировки зажимов электрических машин и аппаратов приводит к изменению режимов их работы. Основными схемами соединения обмоток электрических машин (двигателей, генераторов, трансформаторов и т.д.) являются звезда и треугольник. Преднамеренное или случайное изменение маркировки зажимов обмотки приводит к изменению направления вектора э.д.с. наводимой в этой обмотке на противоположное. Такой же результат получается при изменении направления намотки обмотки.

Для того, чтобы исключить возможные ошибки и систематизировать все многообразие схем соединения обмоток трансформаторов используется понятие “группа соединений”, которое характеризует угловое смещение векторов линейных э.д.с. вторичных обмоток относительно одноименных векторов линейных э.д.с. первичных обмоток. Группа соединений обозначается числом, которое при умножении на 30° даёт угол отставания вектора э.д.с. вторичной обмотки. Если, например, схема и группа соединений трансформатора обозначена Y/Δ -11, то смещение векторов линейных э.д.с. равно 330°.

В соответствии с нормативными документами рекомендуется применять две группы соединения обмоток трёхфазных двухобмоточных трансформаторов: 0 и 11. Однако на практике могут встречаться 12 групп, а также такие со-

единения, которые нельзя отнести ни к одной из групп. Как правило, они возникают вследствие ошибок допущенных при монтаже и ремонте оборудования.

Выбор метода фазировки проводимой при вводе оборудования в работу зависит от его вида (линия, трансформатор, генератор) и класса напряжения, на которое оно рассчитано. Следует различать прямые и косвенные методы фазировки. Прямыми методами называются такие, которые используются для фазировки оборудования, находящегося под напряжением. Используются в установках до 110кВ. Косвенными называются методы, в которых фазировку проводят с помощью трансформаторов напряжения, которые подключены к фазлируемым частям установки. Данные методы могут применяться в различных установках независимо от класса её напряжения.

4.3. Приборы и оборудование

В электрических сетях 0,4 кВ для выполнения фазировки вновь вводимого в эксплуатацию кабеля с кабелем находящимся под напряжением может быть использован вольтметр с диапазоном измерений, рассчитанным на двойное фазное или двойное линейное напряжение. Схема выполнения фазировки приведена на рис. 4.3.

Кабель, который вводится в эксплуатацию, с одного конца подключается к шинам, а на другом конце измеряется напряжение между одноименными фазами действующего и нового кабеля. Фазировка кабеля выполнена правильно в том случае, когда напряжение между одноименными фазами равно нулю, а между разноименными фазами равно линейному напряжению.

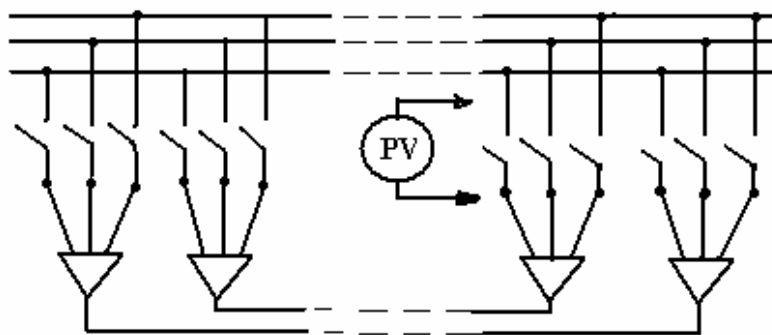


Рис. 4.3 – Фазировка силовых кабелей в сетях 0,4 кВ с помощью вольтметра

При параллельном подключении двух силовых кабелей до включения необходимо убедиться, что подключение выполнено в соответствии с маркировкой и между их жилами отсутствует короткое замыкание. Такая проверка выполняется с помощью контрольной лампы или мегаомметра по схеме приведенной на рис. 4.4.

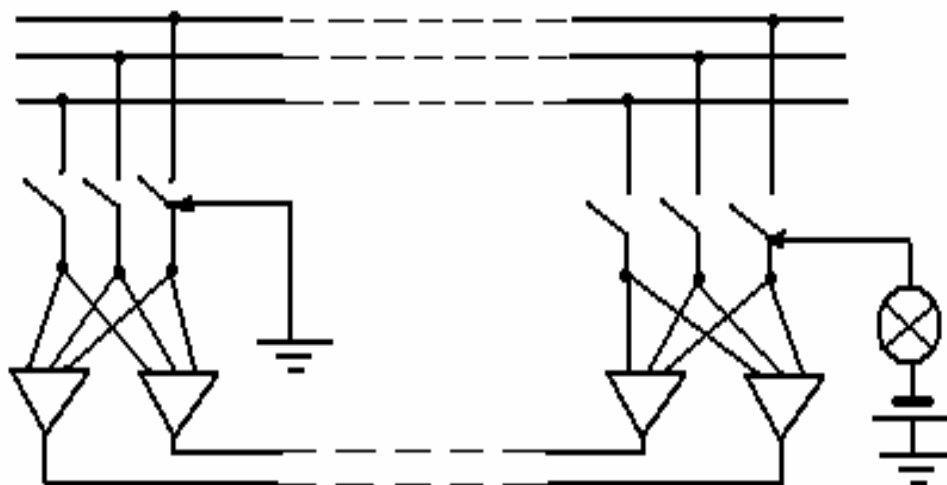


Рис. 4.4 – Фазировка двух силовых кабелей при отсутствии напряжения

Мегаомметры также могут использоваться для фазировки силовых кабелей. Для этого поочередно заземляют жилы в начале кабеля, а в конце, измеряют сопротивление изоляции жил относительно земли.

Менее трудоёмким является способ, который заключается в следующем. С одного конца силового кабеля одна из жил заземляется, вторая жила заземляется через сопротивление определенной величины (8-10 МОм), а третья жила не заземляется. На противоположном конце кабеля измеряют сопротивление жил относительно земли. По показаниям прибора легко определить последовательность следования фаз. Сопротивление заземленной жилы будет равно нулю, жилы заземлённой через сопротивление – величине этого сопротивления, а у незаземленной жилы - бесконечно большим.

В сетях с напряжением до 500В для определения порядка следования фаз может использоваться прибор ФУ-2, принцип действия которого такой же, как

у асинхронного двигателя. Прибор содержит три обмотки расположенные на ферромагнитных сердечниках и алюминиевый диск. В том случае, когда фазы исследуемой сети совпадают с маркировкой прибора, диск вращается в направлении указанном стрелкой на корпусе прибора. Такое вращение соответствует прямому порядку следования фаз. Вращение диска в противоположном направлении - обратному порядку следования фаз.

Универсальный прибор вольтамперфазометр ВАФ-85 позволяет производить измерения значения величины и фазы переменного тока и напряжения частотой 50 Гц, а также определять правильность следования фаз. Угол сдвига фаз определяется относительно трёхфазной системы напряжения. Предел допустимой основной погрешности прибора при измерении переменного напряжения и тока не превышает 4%, угла сдвига фаз – 1,5%. Для определения порядка следования фаз трехфазное напряжение подводится к контактным зажимам «А», «В», «С» и отжимается рукоятка верньера. При этом вращение свободной оси фазорегулятора с лимбом по часовой стрелке указывает на прямой порядок следования фаз.

В установках напряжением выше 1000В для выполнения фазировки широко применяются указатели напряжения. В комплект указателя, как правило, входят: собственно указатель напряжения, трубка с добавочными резисторами и соединительный проводник. Внешний вид указателя напряжения типа УВНФ и схема его подключения при фазировке в сетях 6-10кВ показан на рис. 4.5.

В корпусе указателя напряжения расположена сигнальная лампа, соединенная с шунтирующим и дополнительными высоковольтными конденсаторами. Для фазировки щупы указателя подносят к токоведущим частям установки и следят за свечением сигнальной лампы. В том случае, когда щупы указателя касаются различных фаз, сигнальная лампа ярко светится. Отсутствие свечения лампы свидетельствует о том, что щупы указателя касаются одной и той же фазы.

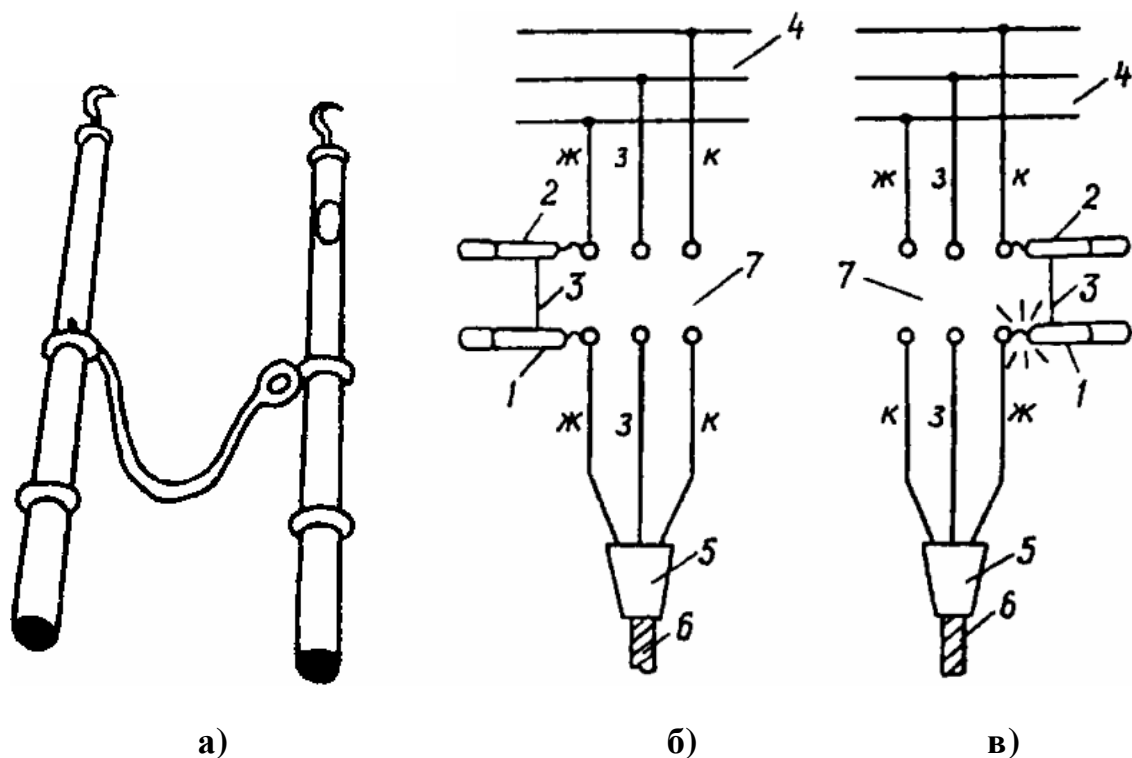


Рис. 4.5 - Фазировка КЛ под напряжением:

а — указатель напряжения и соединенная с ним гибким проводником трубка сопротивления; б — соответствие фаз кабеля и шин; в — разные фазы шин и кабеля в месте присоединения последнего; 1 —указатель напряжения; 2 —трубка сопротивления; 3 — провод; 4 — шина; 5 — концевая заделка; 6 — кабель; 7 — разъем спуска шин

С целью устранения ложного срабатывания сигнальной лампы в процессе эксплуатации указатели напряжения подвергаются испытаниям, в ходе которых измеряется порог зажигания лампы, то есть, то минимальное напряжение необходимое для надежного её зажигания. Так в указателях напряжения применяемых в сетях 10 кВ напряжение зажигания сигнальной лампы при включении на одну фазу должно быть не ниже 12,7кВ, а разные фазы - 2,75кВ. Зажигание лампы при подключении щупов на одну фазу объясняется влиянием емкостей элементов указателя на заземлённые конструкции. Протекание тока через эти ёмкости и вызывает свечение лампы.

С целью обеспечения стабильного напряжения зажигания сигнальной лампы, параллельно с ней включается шунтирующий конденсатор.

Высоковольтные кабели фазировются с помощью трансформаторов напряжения, установленных на центрах питания (ЦП).

4.4. Требования безопасности при выполнения фазировки силовых кабелей.

Фазировка производится только на отключенных с двух сторон кабельных линиях. При этом должны быть приняты меры по предотвращению несанкционированного включения напряжения на линию.

Перед началом фазировки для снятия остаточного заряда кабель необходимо заземлить на 2-3 мин.

4.5. Порядок выполнения работы

1. Перед началом работы ознакомиться со схемой установки (рис.4.5), расположением её элементов и правилами безопасной работы на установке.
2. Провести внешний осмотр указателя напряжения и убедиться в отсутствии повреждений.
3. В присутствии преподавателя включить питание испытательной установки.
4. Проверить исправность указателя напряжения. Для этого щупом трубки, содержащем сопротивление, касаются заземления, а щуп другой трубки подносят к выводу аппарата находящегося под напряжением. В момент касания сигнальная лампа должна загореться. Затем щупы двух трубок подносят к одному токоведущему выводу. Зажигание сигнальной лампы должно отсутствовать.
5. Проверить наличие напряжения на все шести фазлируемых выводах.
6. Выполнить фазировку линии. Для этого щупом одной трубки указателя касаются любого крайнего вывода, например фазы С, а щупом другой трубки – поочерёдно к трём выводам со стороны фазлируемой линии. Отсутствие свечения лампы указывает на одноимённость фаз.
7. Повторить операцию для определения остальных одноименных пар выводов.

8. Выполнить фазировку кабелей, используя для этих целей вольтметр в соответствии со схемой приведенной на рис.4.3.

9. Используя формулы 4.1 и 4.2 определить допустимое значение тока к.з. для кабельной линии по условию её термической стойкости в зависимости от материала и сечения жил кабелей, а также длительности прохождения тока короткого замыкания.

4.6. Контрольные вопросы

1. Объясните, в чём заключается сущность фазировки кабельных линий.
2. Дайте определение фазового угла.
3. Перечислите, какую цветовую маркировку имеют фазы в трёхфазных цепях.
4. Объясните, чем отличаются термины “порядок следования фаз ” и “порядок чередования фаз”.
5. Укажите, какие функции выполняет защитный (РЕ) проводник.
6. Объясните, какие функции выполняет (PEN) проводник.
7. Приведите последовательность, в которой располагаются шины в трёхфазных установках до 1 кВ.
8. Укажите, в какой последовательности располагаются шины в распределительных устройствах 6-220кВ.
9. Объясните, что понимается под термином “группа соединения обмоток”.
10. Объясните, чем отличаются прямые методы выполнения фазировки от косвенных.
11. Перечислите приборы, которые могут использоваться для фазировки кабельных линий.
12. Укажите последовательность, в которой выполняется фазировка кабельных линий.
13. Объясните, как выполняется фазировка кабельных линий с помощью мегаомметра.

14. Перечислите аварийные ситуации, которые могут возникать в электрических сетях вследствие неправильной фазировки.

15. Приведите формулы, с помощью которых можно определить допустимое значение тока к.з. для кабельной линии по условию её термической стойкости.

Литература: [1]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА И МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПЕТЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ

5.1 Цель работы

Изучить методику определения характера и места повреждения кабельных линий с помощью петлевых методов. Получить навыки эксплуатации приборов применяемых для определения места повреждения.

5.2 Общие сведения

Работы по определению мест повреждения (ОМП) подразделяются на следующие три этапа:

- диагностика повреждения, то есть определение характера повреждения кабеля. На этом этапе ОМП устанавливается необходимость предварительного прожигания;
- определение зоны предполагаемого повреждения одним из относительных методов;
- уточнение местонахождения повреждения одним из абсолютных методов.

Метод ОМП кабельной линии выбирается в зависимости от характера повреждения. Повреждения кабеля могут быть подразделены на следующие виды:

- повреждения изоляции, вызывающее замыкание одной фазы на землю;

- повреждение изоляции, вызывающее замыкание двух или трёх фаз на землю либо двух или трёх фаз между собой;
- обрыв одной, двух и трёх фаз (с заземлением или без заземления фаз);
- заплывающий пробой изоляции;
- сложные повреждения, представляющие комбинации из вышеупомянутых видов повреждений.

Для установления характера повреждения кабельной линии следует:

- измерить сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы по отношению к земле;
- измерить сопротивление изоляции между парой токоведущих жил;
- измерить электрическое сопротивление токоведущих жил;
- определить целостность (отсутствие обрыва) токоведущих жил.

Измерения производятся на кабельной линии, которая отсоединена от источника питания и от неё отсоединены все электроприёмники.

Измерение сопротивления изоляции рекомендуется производить мегаомметром на напряжение 2500 В.

Для измерения электрического сопротивления токоведущих жил могут использоваться мосты постоянного тока. В том случае, если температура T при измерениях отличается от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, то после измерения производится пересчет сопротивления на температуру $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$R_{20} = \frac{R_x}{1 + \text{TKp}(T - 20)}, \quad (5.1)$$

где TKp - среднее значение температурного коэффициента удельного сопротивления.

Полученное значение сопротивления используется для определения длины исследуемого участка кабеля

$$L = \frac{RS}{\text{кр}}, \quad (5.2)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление материала, из которого изготовлена токоведущая жила;

k – коэффициент, учитывающий влияние скрутки проволок в жиле ($k \approx 1,02 - 1,03$);

S – сечение жилы.

Численные значения геометрических параметров секторных алюминия жил приведены в табл.10 Приложения.

После определения характера повреждения кабельной линии выбирается метод для определения места повреждения в данном конкретном случае. Рекомендуется в первую очередь определить зону, в которой расположено повреждение. Определение зоны повреждения производится одним из следующих относительных методов: импульсным (локационным), колебательного разряда (волновым) или петлевым.

В данной лабораторной определению места повреждения кабельной линии производится петлевым методом, который основан на том, что поврежденная и «здоровая» жилы кабеля соединяются накоротко с одной стороны (образуется петля) с другой стороны к концам жил подсоединяются дополнительные регулируемые резисторы – создается схема моста. Для пользования методом петли необходимо иметь хотя бы одну неповрежденную жилу кабеля или хотя бы одну жилу с переходным сопротивлением, значительно большим переходных сопротивлений двух других жил (в 10 – 100 раз). Значения переходного сопротивления жилы должно быть не более 5000 Ом. При больших значениях устойчивых переходных сопротивлений можно применить мост высокого напряжения обычного реохордного типа, управление которым производится с помощью изолирующей штанги.

Методом петли надежно проверяются однофазные и двухфазные замыкания устойчивого характера. Трехфазные замыкания определяются при наличии дополнительного провода, в качестве которого может быть использован параллельно проложенный кабель.

Известны методы определения места повреждения по схеме петли Муррея и петли Варлея.

Метод петли Муррея (рис 5.1) применяется, если в определенном месте одна из жил кабеля замыкается на другую или на оболочку через переходное сопротивление, величина которого не превышает 10^4 Ом.

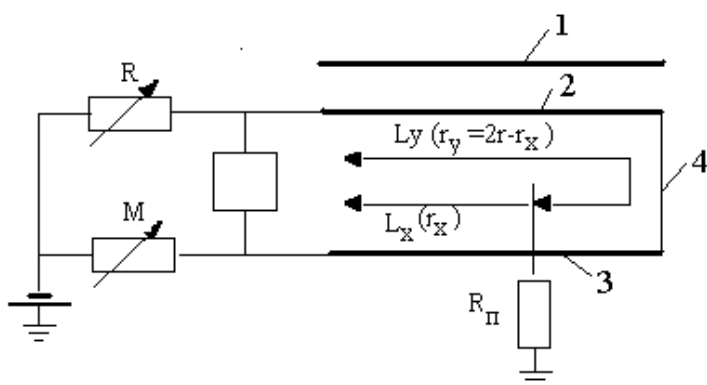


Рис.5.1 - Схема измерений для определения расстояния до места повреждения кабеля методом петли Муррея

1,2,3 – жилы кабеля, 4 – перемычка

Из условия равновесия моста следует

$$M(2r - r_x) = R \cdot r_x \quad r_x = \frac{M \cdot 2r}{M + R}, \quad (5.3)$$

где R – сопротивление плеча моста, подключенного к неповрежденной жиле,

M – сопротивление плеча моста, подключенного к поврежденной жиле

(отсчет по декаде отношений),

r – сопротивление жилы кабеля,

r_x – сопротивление жилы кабеля до места повреждения.

При постоянном сечении токоведущих жил сопротивление отрезков пропорциональны длине соответствующих участков.

Расстояние до места повреждения находится из выражения

$$L_x = 2L \frac{M}{M + R}, \quad (5.4)$$

где L – длина кабельной линии;

Измерения по определению места повреждения следует производить с обоих концов кабельной линии, меняя место установки перемычки.

Оценить полученные результаты можно исходя из равенства

$$L_x + L_y = 2L$$

Погрешность измерений вычисляется по формуле

$$\Delta L = \frac{2L - (L_x + L_y)}{2L} 100\% \quad (5.5)$$

Схема измерений методом петли Варлея приведена на рис.5.2.

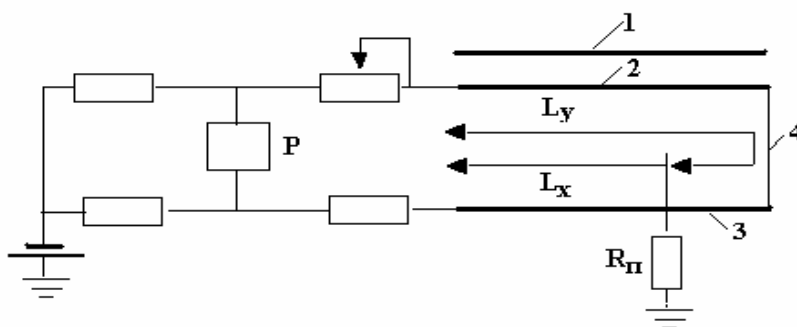


Рис.5.2 - Схема измерений для определения расстояния до места повреждения кабеля методом петли Варлея

1,2,3, - жилы кабеля, 4 – перемычка.

Результаты измерений определяются по формуле

$$r_x = \frac{n(R + r)}{n + 1}, \quad (5.6)$$

где r – сопротивление двух жил кабеля, Ом;

R – сопротивление плеча сравнения;

n – множитель, устанавливаемый на декаде моста.

Расстояние до места повреждения кабеля находится из выражения

$$L_x = \frac{r_x F}{\rho}, \quad (5.7)$$

где F – сечение токопроводящей жилы, мм^2 ,

ρ - удельное сопротивление материала жил кабеля, Ом $\text{мм}^2/\text{км}$.

Измерения также следует производить с обоих концов кабельной линии, меняя место установки перемычки.

При обрыве токоведущих жил для определения мест повреждения применяется емкостной метод, основанный на измерении емкости жил по отношению друг к другу или по отношению к земле. Схема емкостного моста приведена на рис.5.3.

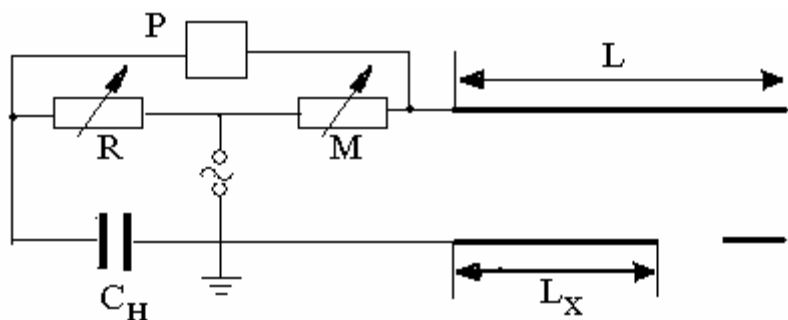


Рис.5.3 - Схема измерений для определения места повреждения емкостным методом

Из условия равновесия моста следует

$$C_x = C_n \frac{R}{M},$$

где M и R – регулируемые сопротивления,

C_x – определяемая емкость кабельной линии, мкф,

C_n – эталонный конденсатор, мкф.

На основании результатов измерений емкости исправной жилы C_y и емкости поврежденной жилы C_x можно определить длину участка кабеля

$$L = \frac{C_x + C_y}{2C_{уд}}, \text{ км} \quad (5.8)$$

где $C_{уд}$ удельная емкость

Измерение емкости участков кабельной линии производится с обоих концов. Расстояние от места измерения до места обрыва жилы кабеля определяется из выражения

$$L_x = 2L \frac{C_2}{C_1 + C_2} \quad (5.9)$$

где C_1 и C_2 – результаты первого и второго измерения, мкф.

5.3. Приборы и оборудование

Определение зоны повреждения кабеля производится с помощью специальных кабельных мостов типа КМ-61С, Р-333, или измерительных мостов ЩЗ4, Р3009, Р4056.

В лабораторной работе используется кабельный мост Р-333 предназначенный для измерения электрического сопротивления постоянному току в диапазоне от 0,005 Ом до 999900 Ом, а также для определения места повреждения по схемам петли Муррея и петли Варлея.

Автоматический мост Щ 34 используется для измерения электрического сопротивления постоянному току в диапазоне от 10^{-3} до 10^9 Ом. Предел допустимой основной погрешности в зависимости от диапазона измерений сопротивления не превышает 0,5%. Результаты измерений отображаются на цифровом табло в виде пятизначного десятичного числа с "плавающей" десятичной запятой и единицы измерения "Р", "К" и "М", где "Р" – Ом, "К" – Ком, «М» – Мом, Прибор имеет следующие виды запуска:

- ручной, осуществляемый нажатием кнопки «Пуск», расположенной на лицевой панели;
- автоматический, с выдержкой времени после каждого измерения от 2 до 20сек. С помощью потенциометра «Время индикации», расположенного на лицевой панели;
- дистанционный, осуществляемый замыканием контактов разъёма «Щ20-2», расположенного на задней панели.

5.4. Порядок выполнения работы

- 1.Собрать схему для измерения электрического сопротивления жил кабеля.
- 2.Определить марку испытываемого кабеля и сечение токопроводящих жил. Результаты записать в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты экспериментальных и расчётных значений

Марка кабеля	Площадь поперечного сечения жилы мм^2	Удельное сопротивле- ние жилы кабеля Ом/км	Сопротивле- ние двух жил кабеля Ом	Длина участка кабеля км

3. В присутствии преподавателя включить питание цифрового омметра ЦЦ-34. Время установления рабочего режима прибора – 15 минут.

4. Измерить омическое сопротивление токопроводящих жил и определить длину испытываемого кабеля. Результаты записать в табл.5.1.

5. Определить вид повреждения в силовом кабеле. Результаты записать в табл.5.2.

Таблица 5.2 – Результаты экспериментальных и расчётных значений

R_{AO}	R_{BO}	R_{CO}	R_{AB}	R_{BC}	R_{AC}	Вид повреждения

6. Собрать схему для определения места повреждения по схеме петли Муррея. Для этого к зажимам « R_X » моста подключить исправную и поврежденную жилы кабеля, соединив их на противоположном конце. Переключатель (3) моста поставить в положение «ПМ». Подключить заземление к зажиму «Земля». В присутствии преподавателя включить одинарный мост Р-333.

7. Переключатель П5 установить, в зависимости от величины измеряемого сопротивления, в положение М 1000, М 100, или М10.

8. Уравновесить мост поворотом переключателей П 1 – П 4, нажимая первоначально кнопки «вкл. гальв.», «грубо», а затем «точно».

ВНИМАНИЕ! Во избежание повреждения гальванометра не допускается нажимать кнопку «точно» не установив стрелку гальванометра на нуль при нажатой кнопке «грубо».

8. Произвести расчёт сопротивления и расстояния до места повреждения по формулам (2.3), (2.4). Результаты расчёта записать в табл.5.3.

Таблица 5.3 – Результаты экспериментальных и расчётных значений

Петля Муррея					Петля Варлея				
r_x	L_x	r_y	L_y	ΔL	r_x	L_x	r_y	L_y	ΔL

10. Произвести измерения по п.п. 6 – 9, установив перемычку на противоположном конце кабеля.
11. Оценить погрешность измерения по формуле (2.5).
12. Собрать схему для определения места повреждения по схеме петли Варлея. Для этого переключатель установить в положение «ПВ».
13. Установить на декаде П5 первоначально значение $n = 1$.
14. Уравновесить мост поворотом переключателей П 1 – П 4, нажимая первоначально кнопки «вкл. гальв.», «грубо», а затем «точно».
15. Произвести расчёт сопротивления и расстояния до места повреждения по формулам (5.6), (5.7). Результаты расчёта записать в табл.5.3.
16. Произвести измерения по п.п.13 –14, установив перемычку на противоположном конце кабеля. Результаты измерений записать в табл.5.3.
17. Оценить погрешность измерения по формуле (5.5).

5.5. Контрольные вопросы.

1. Перечислите этапы проведения работ по определению места повреждения силового кабеля.
2. Укажите виды повреждения силовых кабелей.
3. Перечислите методы определения места повреждения силового кабеля.
4. Опишите технические характеристики кабельного моста.
5. Укажите особенности определения места повреждения по методу «Петли Муррея».
6. Дайте характеристику емкостного метода, используемого для определения места повреждения кабельной линии.
7. Укажите отличия определения места повреждения по методу «Петли Варлея» от метода «Петли Муррея».
8. Перечислите недостатки петлевых методов определения места повреждения в силовых кабелях.

Литература: [4]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ
ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ**

6.1 Цель работы

Изучить методику определения расстояния до места повреждения и его вида в кабельных линиях. Освоить навыки работы с приборами, применяемыми для определения места повреждения импульсным методом.

6.2 Общие сведения

При подключении источника сам к проводу линии электропередачи процесс проникновения электрической энергии во всё более удаленные от начала участка линии происходит с конечной скоростью. Характер этого процесса волновой: вдоль провода от его начала к концу движется электромагнитная волна (ЭМВ). При отсутствии в проводе активных потерь и, когда он расположен в вакууме над идеальной проводящей поверхностью, электромагнитная волна перемещается в нем со скоростью света ($c=3 \cdot 10^8$ м/с). В этом случае распространение энергии происходит строго вдоль провода, без потерь. Электромагнитная волна, распространяющаяся в такой линии, называется плоской.

При расположении провода с активным сопротивлением над землей с конечной проводимостью ЭМВ перестает быть плоской. Её энергия частично расходуется в проводе и земле, волны как бы проникают в эти среды. Форма волны, особенно её фронт, искажается, и уже нельзя говорить о скорости движения всей волны, так как отдельные частотные её составляющие перемещаются с разным замедлением.

Процесс распространения волн усложняется для группы проводов, расположенных параллельно над поверхностью земли. Подключение сам к одному проводу обуславливает появление напряжений и движущихся ЭМВ в остальных проводах. Энергия распространяется в пространстве, окружающем все провода, проникая в них и в землю. Процесс распространения волн зависит от

числа, взаимного расположения, материала и размеров проводов, их удаления от поверхности земли, а также характеристик последней. Существенное значение имеет также частотный диапазон, в котором сосредоточена основная часть энергии движущихся волн. Распространение энергии в различных совокупностях параллельных проводов происходит как бы по определенным волновым каналам.

Для однородных участков энергия по отдельным волновым каналам распространяется независимо. В местах нарушения однородности происходит перераспределение энергии между каналами. В общем случае в этих местах возникают отраженные и преломленные волны, а также происходит излучение энергии в пространство.

Для силовых кабелей, снабженных металлической наружной оболочкой, ЭМВ экранируется этой оболочкой и практически в землю не проникает. Характер распространения ЭМВ в КЛ обуславливается диэлектрической проницаемостью и потерями в изоляции.

Принцип импульсных измерений заключается в том, что в измеряемую линию подаются импульсы напряжения (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда они были посланы. Сигналы, отраженные от неоднородностей волнового сопротивления, будут смещены по времени относительно зондирующего импульса в зависимости от расстояния до неоднородности. Таким образом, величина смещения отраженного сигнала относительно зондирующего импульса на экране электронно-лучевой трубки будет пропорциональна расстоянию до неоднородности.

Под волновым сопротивлением линии понимают сопротивление, которое встречает электромагнитная волна при своем распространении вдоль однородной линии без отражения. Оно свойственно данному типу линии и зависит лишь от её первичных параметров, а также частоты тока и постоянно в любой точке цепи. Для однородной неискаженной линии

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}}, \quad (6.1)$$

где L_o и C_o соответственно индуктивность и ёмкость линии, отнесенные к единице длины, обычно к одному километру.

Неоднородность волнового сопротивления характеризуется коэффициентом отражения

$$P = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{зонд}}} = \frac{z - \rho}{z + \rho}, \quad (6.2)$$

где P – коэффициент отражения;

$U_{\text{отр}}$ – амплитуда отраженного импульса;

$U_{\text{зонд}}$ – амплитуда зондирующего импульса;

z – сопротивление в месте повреждения;

ρ – номинальное волновое сопротивление линии.

Отсутствие отраженного сигнала свидетельствует о точном согласовании линии по волновому сопротивлению.

Отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий при увеличении сопротивления в месте повреждения, достигая предельной амплитуды, равной амплитуде зондирующего импульса (полное отражение) при обрыве.

Отраженный импульс меняет полярность при уменьшении сопротивления линии, достигая предельной амплитуды, равной амплитуде импульса, при коротком замыкании.

Для того, чтобы сделать импульсные измерения максимально объективными, необходима зарисовка или фотографирование нормально наблюдаемой характеристики и сопоставление её с картой линии. Таким образом, осуществляется привязка отражений на экране к ориентирам на местности, позволяющая производить отсчет не от места подключения прибора, а от ближайшей к месту повреждения постоянно существующей неоднородности (кабельной вставки, контрольного столба, транспозиции). При наличии зарисованных импульсных характеристик линии, отражающих все их неоднородности, место повреждения определяется по появлению нового всплеска.

Энергия электрических импульсов распространяется в линии по определенным волновым каналам. В коаксиальных кабелях и силовых высоковольтных кабелях с отдельными оболочками для каждой жилы имеется только один волновой канал “жила – оболочка“. В многожильных кабелях и много проводных линиях число волновых каналов равно числу жил (проводов). Например, в трехжильном силовом кабеле имеется три волновых канала: два канала “жили-жила” и один канал “все три жилы – оболочка”.

На однородных участках энергия электрических импульсов по отдельным каналам распространяется независимо. Это означает, что при подключении генератора зондирующих импульсов по схеме “жила-жила” и наличии на каком-то расстоянии короткого замыкания этих жил, в процессе распространения и импульсных измерений участвует только один волновой канал “жила-жила”. Остальные жилы и оболочка многожильного кабеля не участвуют в распространении импульсов.

Если же имеется короткое замыкание одной из жил на оболочку, то при подключении генератора зондирующих импульсов по схеме “поврежденная жила – неповрежденная жила” в распространении импульсов участвуют у трехжильного кабеля все три волновых канала.

Точность импульсных измерений в основном определяется правильным выбором величины скорости распространения импульсного сигнала в измеряемой линии.

Каждая линия, имеющая отличные от другой первичные параметры (тип диэлектрика, сечение, материал провода и т.п.) обладает своей собственной скоростью распространения импульсного сигнала. В измерителях обеспечен прямой непосредственный отсчет расстояния в единицах длины с учетом скорости распространения импульса в линии через коэффициент укорочения электромагнитной волны (ручка УКРОЧЕНИЕ). Величина коэффициента укорочения волны для волнового канала определяется по формуле

$$\gamma = \frac{c}{V} , \quad (6.3)$$

где c – скорость света, равная 300 м/мкс;

V – скорость распространения импульса в данном типе линии.

Численные значения коэффициента укорочения для волновых каналов кабелей и линий различных типов приведены в табл. 11 и табл. 12 Приложения

При импульсных измерениях на линиях с неизвестным коэффициентом укорочения его можно ориентировочно вычислить по формуле

$$\gamma = \sqrt{\epsilon} , \quad (6.4)$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость изоляции кабеля

6.3 Приборы и оборудование

На основе импульсного метода или как его часто называют метода импульсной рефлектометрии, работают приборы Р5-10, Р5-13, Р5-17, а также зарубежные приборы фирм Tektronix и RiserBond (США), Bicotest (Англия), и немецких фирм Hegenuk и Seba Dynatronik.

Измеритель неоднородности линий Р 5-10 предназначен для проведения следующих операций на воздушных и кабельных линиях электропередачи:

обнаружение повреждения и определение его характера (обрыв, короткое замыкание);

обнаружение сосредоточенной неоднородности волнового сопротивления (асимметрия в проводах, нарушение контакта, вставки, неоднородности от резкого изменения сопротивления изоляции и др.);

определение расстояния до повреждения или неоднородности.

Измеритель может быть использован не только для измерения на поврежденных линиях, но и для контроля состояния кабелей, прогнозирования неисправностей в них, измерения их длины и симметрирования.

Минимальная длина линии, с которой возможен просмотр, не превышает 5 м, однако может быть сведена к минимуму при подключении к началу линии калиброванной вставки длиной порядка 4-5м с тем же волновым сопротивлением.

Принцип работы данного прибора основан на том, что в измеряемую линию подаются импульсы напряжения, которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда они были посланы.

Упрощенная структурная схема импульсного рефлектометра приведена на рис.6.1.



Рис. 6.1 – Структурная схема импульсного рефлектометра

Генератор импульсов вырабатывает импульсы, направляемые в линию. Отраженные от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления импульсы поступают в приёмник, где осуществляются преобразования над ними. С выхода приемника преобразованные сигналы поступают на графический индикатор. Управление работой прибора осуществляет блок управления.

На рис.6.2 показаны примеры присоединения импульсного измерителя к линии с разными видами повреждения.

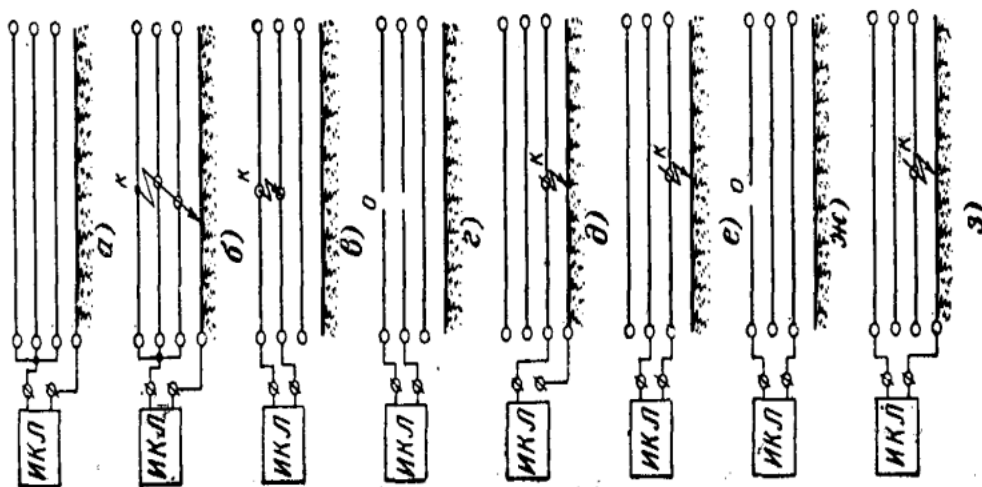


Рис. 6.2 – Подключение импульсного измерителя

При подключении прибора по схемам, приведенных на рис.6.2а и рис. 6.2б импульсы посылаются в линию только по нулевому каналу, и по нему же возвращаются отраженные импульсы от конца и от места повреждения. При схеме рис. 6.2 в, г посылка в линию импульсов происходит только по само затухающе каналу и по нему же возвращаются отраженные от места короткого замыкания (рис. 6.2, в) и обрыва (рис. 6.9, г) импульсы. При схеме, приведенной на рис.6.2 д, прибор присоединяется по схеме «жила—оболочка», и при этом зондирующие и отраженные импульсы распространяются как по нулевому, так и по само затухающе каналам. Наличие взаимных волновых сопротивлений жил обуславливает в этом случае появление импульсов в остальных двух жилах кабеля.

При схеме (рис.6.2 е, ж) зондирующие импульсы посылаются по между-жильному каналу. Однако в месте к. з. (рис. 6.2, е) или обрыва (рис. 6.2, ж) возникают нулевые слагающие импульса, что в свою очередь вызывает появление отраженных импульсов в обоих каналах.

Таким образом, место однофазного замыкания (или обрыва) можно точно и надежно измерять при включении прибора между поврежденной и неповрежденной жилами. В связи с тем, что по нулевому каналу затухание импульса происходит во много раз интенсивнее, чем при распространении по между-жильному каналу, подключать прибор целесообразно между жилами. Просмотр же линии для выявления вида повреждения следует производить как между жилами, так и между жилами и оболочкой.

Схема изображенная на рис.6.2 з, не рекомендуется для измерений и приведена в качестве примера, показывающего влияние повреждения одной из жил на измерения по другой жиле. При посылке зондирующих импульсов по схеме «неповрежденная жила—земля» импульсы распространяются по всем трем жилам (по обоим каналам). Отражение в месте к. з. на одной из жил перераспределяет составляющие импульсов и вызывает появление относительно небольшого отраженного импульса и в жиле, по которой ведется измерение. Это отражение на экране прибора соответствует расстоянию до места повреждения. Поэтому

измерение длины линии, имеющей одну поврежденную жилу, целесообразно проводить по схеме «жила—жила» с использованием обеих неповрежденных жил.

Реакция линии на зондирующий импульс отображается на графическом индикаторе. Вид отраженного сигнала зависит от характера повреждения или неоднородности. Например, при обрыве на рис.6.3 отраженный импульс имеет ту же полярность, что и зондирующий, а при коротком замыкании на рис.6.4 отраженный импульс меняет полярность.

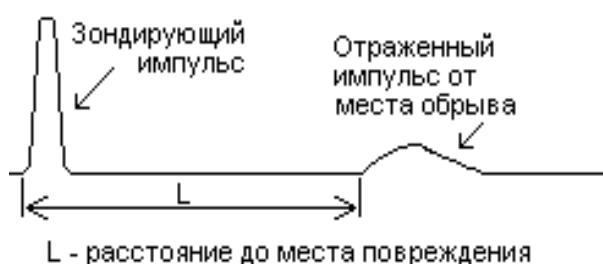


Рис. 6.3 - Рефлектограмма линии при обрыве



Рис. 6.4 – Рефлектограмма линии при замыкании

В идеальном случае, когда отражение от повреждения полное и затухание отсутствует, амплитуда отраженного сигнала равна амплитуде зондирующего импульса.

Указания мер безопасности

Все измерения должны производиться на отключенной с обеих сторон линии. Во избежание выхода измерителя из строя необходимо предварительно разрядить линию, замкнув жилы между собой и на заземляющее устройство.

Перед включением измерителя необходимо заземлить зажим защитного заземления на блоке питания.

Заземление производить до других соединений измерителя, а отсоединение зажима защитного заземления производить после всех отсоединений.

6.4. Порядок выполнения работы.

1. Произвести внешний осмотр прибора и убедиться в отсутствии механических повреждений и неисправностей.
2. Осуществить заземление прибора.
3. Установите органы управления в исходное положение:
УСИЛЕНИЕ – в крайнее левое положение;
РАССТОЯНИЕ – «0»;
УСТ. ОТСЧЁТА - в крайнее левое положение;
КОМПЕНС. – в крайнее левое положение
ручку управления яркостью в крайнее левое положение
4. Подключите с помощью соответствующего кабеля измеритель к внешней цепи.
5. В присутствии преподавателя включите тумблер СЕТЬ на блоке питания. После включения тумблера СЕТЬ на блоке питания должна загореться сигнальная лампочка.
6. Включите тумблер ПИТАНИЕ на передней панели прибора, при этом должна загореться сигнальная лампа.
7. Отрегулируйте соответствующими ручками яркость, фокусировку и положение луча на экране электронно-лучевой трубки. Положение линии развертки луча должно быть на середине экрана трубки.
8. Плавным вращением ручки УСТ. ОТСЧЁТА вправо добейтесь появления на экране зондирующего импульса.
9. К разъёму ВХОД-ВЫХОД на левой панели измерителя подключите соединительный кабель; к разъёму соединительного кабеля – присоединительный кабель или блок входных цепей.

10. В зависимости от длины измеряемых линий работа производится на одном из следующих диапазонов измерения выбираемых тумблером ДИАПАЗОНЫ: 0,3км; 1км; 3км; 10км; 30км; 100км; 90км; 300км. Результат измерения расстояния будет более точным, если отсчёт производится в конце диапазона измерения.

11. Установите ручку ЗОНД. ИМП. В положения:

«0,05; 0,1; 0,3; \square » при длине измеряемой линии до 10 км;

«0,1; 0,3; 1; 3» при длине измеряемой линии до 30 км;

«1; 3; 10; 30» при длине измеряемой линии до 300 км

12. Установите ручку само. СОПР. – на величину волнового сопротивления измеряемой линии. Приближенные значения выходного сопротивления определяются цветными секторами, нанесенными на передней панели прибора под ручкой ВЫХ. СОПР. Светлому сектору соответствует выходное сопротивление от 20 до 100 Ом; серому – от 100 до 250 Ом; темно-серому – от 250-500 Ом.

13. Подключите присоединительный кабель к измеряемой линии.

14. Установите ручку ОБЩ. – РАЗД. На левой панели прибора в положение ОБЩ.1 – в случае измерений на одной паре и измерений по методу последовательного сравнения или в положение РАЗД. – в случае измерений по методу перехода энергии.

15. Установите ручку УКРОЧЕНИЕ в положение, соответствующее значению коэффициента укорочения измеряемого типа кабеля. Значения коэффициента укорочения кабелей типа СБ, ОСБ, ОАБ равно 1,87, волновое сопротивление -25-35 Ом.

16. В соответствии с указаниями преподавателя выполните на исследуемом кабеле следующие измерения:

- определите расстояния до неоднородности (повреждения) несимметричного кабеля;
- проведите измерение временной задержки;
- выполните последовательное сравнение трёх жил;

- проведите измерение по методу перехода энергии;
- выполните исследования сложных повреждений перепадом напряжения (измерение протяженных кабельных вставок и строительных длин, измерения на линиях с ответвлениями, измерения при плавном изменении волнового сопротивления при попадании влаги в кабель и др.)

17. Для определения расстояния до места повреждения выполните следующие действия:

- установите переключатель П2 на переходное сопротивление равное нулю;
- ручкой «УСТ.ОТСЧЁТА» совместите передний фронт зондирующего импульса с одной из рисок шкалы ЭЛТ;
- зарисуйте импульсную характеристику на кальку;
- ручкой «РАССТОЯНИЕ» произведите совмещение начала фронта найденного всплеска импульсной характеристики (отраженного импульса) с отсчётной риской шкалы (с той, с которой производилось совмещение зондирующего импульса);
- по показаниям ручки «РАССТОЯНИЕ» произведите отсчет расстояния (в полученный результат входит длина соединительного кабеля);
- составьте карту линии (табл.6.1)

Таблица 6.1- Результаты экспериментальных и расчётных значений

	Вид повреждения									
	Короткое замыкание					Обрыв				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние до места повреждения, км										
Длительность импульса (положение ручки ЗОНД.ИМП., μ s)										
Величина выходного сопротивления (положение ручки само.СОПР.)										
Диапазон измерений (положение ручки ДИАПАЗОНЫ, км)										

18. Проведите исследование зависимости длительности отраженного импульса при коротком замыкании жилы на землю и обрыве от расстояния до места повреждения. Для этого переключателем П1 поочерёдно установить режим короткого замыкания и для каждого случая измерить относительную длительность отраженного импульса (длительность импульса короткого замыкания ближнего к точке измерения принять за единицу). Результаты измерений записать в табл.6.2

19. Провести аналогичные измерения по п.17 для режима «обрыв линии». Место обрыва изменять при помощи тумблеров S_1 - S_{10} . Результаты измерений записать в табл.6.2.

20. Проведите исследование зависимости величины амплитуды отраженного сигнала от расстояния до места повреждения. Амплитуду импульса ближнего к месту повреждения принять за единицу. Результаты измерений записать в табл.6. 2.

Таблица 6.2 – Результаты экспериментальных и расчётных значений

	Вид повреждения									
	Короткое замыкание					Обрыв				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длительность импульса в относительных единицах										
Амплитуда отраженного сигнала в относительных единицах										
Длительность импульса в относительных единицах										
Амплитуда отраженного сигнала в относительных единицах										

21. Построить графики зависимости длительности импульса от расстояния до места повреждения при различных видах повреждения.

22. Построить график зависимости амплитуды отраженного сигнала от расстояния до места повреждения.

6.5. Контрольные вопросы:

1. Объясните сущность импульсного метода определения места повреждения.
2. Перечислите виды работ, которые можно выполнять с помощью измерителя неоднородности линий
3. Перечислите виды неоднородностей, которые могут иметь место в кабельных линиях.
4. Объясните, когда при использовании импульсного метода отсутствует отраженный сигнал.
5. Укажите причины, влияющие на погрешность измерения, проводимые импульсным методом.
6. Перечислите волновые каналы, по которым может распространяться электромагнитная волна в силовом кабеле.
7. Перечислите волновые каналы, по которым может распространяться электромагнитная волна в воздушной линии электропередачи.
8. Укажите с помощью какого параметра можно оценить неоднородность волнового сопротивления.
9. Объясните, как определить коэффициент укорочения электромагнитной волны.
10. Объясните, что такое волновое сопротивление и как оно определяется.

Литература: [4]

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

7.1 Цель работы

Изучить влияние возможных аварийных режимов на характеристики электрических сетей, а также методы их защиты.

9. Общие положения

Электроустановки переменного напряжения до 1000 В, используемые в городских электрических сетях могут работать как с изолированной, так и с глухозаземленной нейтралью.

Критериями выбора режима нейтрали в установках до 1000 В является экономичность, надёжность и безопасность.

К достоинствам электроустановок с изолированной нейтралью следует отнести, что при повреждении изоляции в одной из фаз и замыкании её на землю нет необходимости в срочном отключении поврежденного участка если это не вызвано другими требованиями, например, взрыво- и пожаробезопасностью. Кроме того в схемах релейной защиты достаточно устанавливать только два трансформатора тока и два токовых реле, что повышает технико – экономические показатели устройства контроля изоляции.

Однако длительная, более двух часов, работа электрооборудования не допускается, так как напряжение на двух других фазах по отношению к земле повышается в 1,7 раза, что может привести к двухфазному замыканию на землю с большими токами КЗ.

В системах с глухозаземленной нейтралью повреждение изоляции, сопровождающееся замыканием на землю, приводит к немедленному отключению поврежденного участка. В связи с этим, электроустановки с глухозаземленной нейтралью с точки зрения надёжности электроснабжения менее надежны, чем установки с изолированной нейтралью.

В соответствии с ПУЭ в трёхфазных системах питания напряжением 220 и 380 В допускается применять как изолированную так и глухозаземленную нейтраль. С точки зрения безопасности обслуживающего персонала целесообразно использовать глухое заземление нейтрали, чтобы исключить значительное повышение напряжения при возникновении замыкания на землю.

В электрических установках выше 1000 В может использоваться изолированная нейтраль, глухозаземленная нейтраль и нейтраль заземлённая на землю через дугогасящее устройство. Установки, в которых ток однофазного замыка-

ния на землю не превышает 500 А называют установками с малыми токами замыкания на землю. Если ток однофазного замыкания на землю превышает 500 А, то такие установки относятся к установкам с большими токами замыкания на землю.

Системы с изолированной нейтралью напряжением выше 1000 В относятся к установкам с малыми токами замыкания на землю. При однофазном замыкании на землю одной из фаз линейные напряжения остаются практически неизменными по значению и сдвинутыми на 120^0 , а напряжение других фаз по отношению к земле увеличивается в 1,7 раза. В связи все приемники, подключённые на линейное напряжение продолжают работать в нормальном режиме.

Однако, увеличение вероятности возникновения двухфазного КЗ при длительной работе в режиме однофазного замыкания вызывает необходимость использовать устройства контроля изоляции. Для обеспечения надёжной работы электрооборудования в системах с изолированной нейтралью токи однофазного замыкания на землю рекомендуется ограничивать в следующих пределах: в сетях напряжением 35 кВ – 10 А, напряжением 20 кВ – 15 А, напряжении 10 кВ – 20 А и при напряжении 6 кВ – 30 А.

Для уменьшения емкостных токов при однофазном замыкании на землю применяется компенсирующие устройства, которые включаются между нейтралью установки и землёй. При однофазном КЗ компенсирующее устройство оказывается подключенным на фазное напряжение и через место замыкания на землю протекает емкостной ток замыкания и индуктивный ток компенсирующего устройства. Так как эти токи отличаются по фазе на 180^0 , то в месте замыкания на землю они компенсируют друг друга.

В системах напряжением 110 кВ и выше применяется глухое заземление на землю. В связи с тем, что при однофазном замыкании на землю поврежденная фаза оказывается короткозамкнутой на нейтраль, в этих установках возникают большие токи замыкания на землю.

Глухое заземление нейтрали предупреждает возникновение в электроустановках перенапряжений, что позволяет снизить уровень изоляции и соответственно затраты.

10. Приборы и оборудование.

Для исследования аварийных режимов в сетях напряжением 6-35 кВ используется модель, схема которой приведена на рис.7.1. Исследуемая сеть питается от трёхфазного трансформатора, с соединением обмоток высокого и низкого напряжения соответственно по схемам «звезда» и «треугольник». В качестве трансформаторов напряжения 1Тна, 1ТНв и 1ТНс применяются три однофазных трансформатора мощностью по 100 В·А.

7.4. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему, приведенную на рис.7.1. Трансформаторы напряжения включаются по схеме «звезда – звезда».

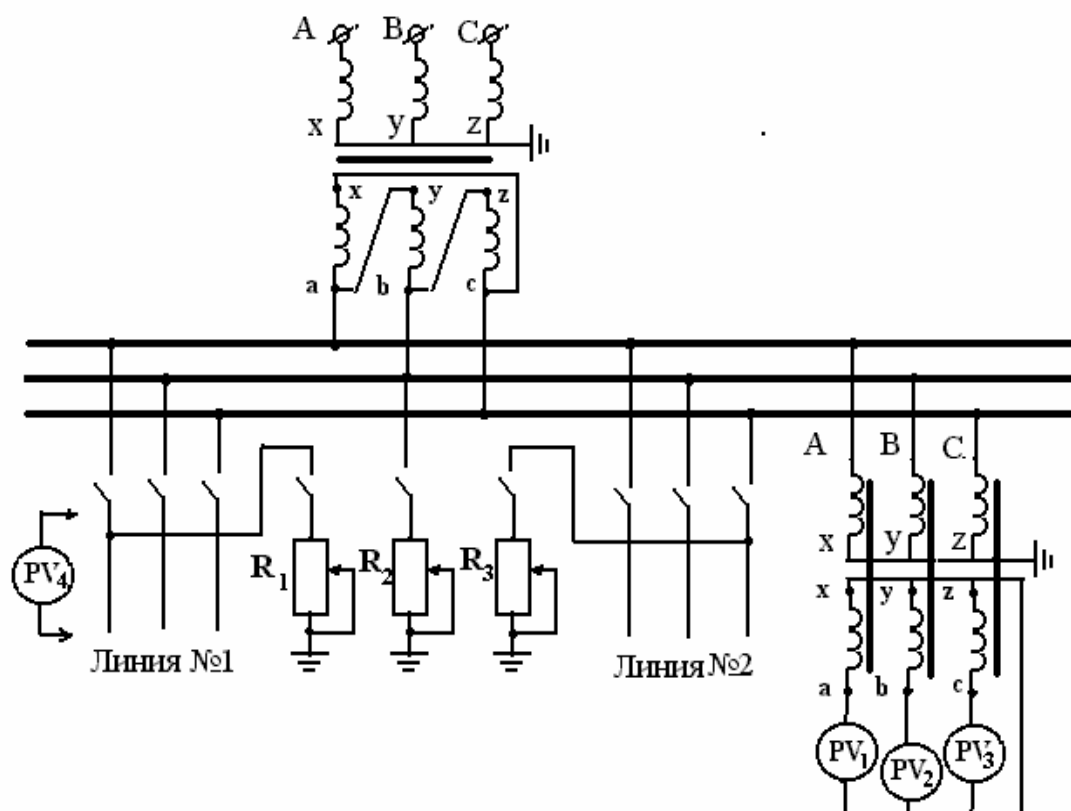


Рис.7. 1 – Электрическая схема имитационной модели для исследования аварийных режимов в сетях с изолированной нейтралью

2. В присутствии преподавателя подать напряжение на схему.
3. Записать в табл.7.1 показания вольтметров PV1, PV2, PV3.
4. Включить линии №1 и №2 автоматическими выключателями
5. Измерить напряжение на линии №1. Данные записать в табл.7.1.
6. Поочерёдно замкнуть рубильники при полностью выведенных сопротивлениях реостатов R1, R2, R3. Показания вольтметров записать в табл.7.2.
7. Измерить линейное и фазное напряжение на линии №1 при поочерёдном замыкании рубильников.
8. Для имитации двойного замыкания на землю замкнуть рубильники 3В и 5В при полностью введенных реостатах. Записать показания вольтметров PV1, PV2, PV3 в табл.7.3.
9. Повторить измерения по п.8 при наполовину введенных сопротивлениях реостатов. Данные записать в табл.7.3.

Таблица 7.1 – Результаты измерений параметров сети в нормальном режиме

На шинах			На линии №1		
U_A	U_B	U_C	U_a	U_b	U_c

Таблица 7.2 – Результаты измерений параметров сети в аварийном режиме при однофазном замыкании на землю.

На шинах			На линии №1					
U_A	U_B	U_C	U_a	U_b	U_c	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}

Таблица 7.3 – Результаты измерений параметров сети в аварийном режиме при двухфазном замыкании на землю.

На шинах			На линии №1					
U_A	U_B	U_C	U_a	U_b	U_c	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}

7.5. Контрольные вопросы:

1. Объясните, почему замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью не влияет на работу электроприёмников.
2. Укажите причины, по которым ограничивается время работы сети с изолированной нейтралью при замыкании одной фазы на землю.

3. Перечислите причины, по которым стремятся уменьшить вероятность возникновения двойного замыкания на землю в сетях с изолированной с изолированной нейтралью.

4. Укажите, для каких целей в нейтрали сети устанавливается дугогасящий реактор.

5. Объясните причины, по которым электрические сети напряжением 110кВ и выше работают с глухозаземленной нейтралью.

6. Перечислите режимы работы нейтрали, которые рекомендуется применять в электрических сетях напряжением до 1000 В.

7. Перечислите режимы работы нейтрали, которые рекомендуется применять в электрических сетях напряжением выше 1000В.

Список литературы

1. Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288с.

2. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии.- М.: Энергоатомиздат, 1985. – 365с.

3. Привезенцев В.А. , Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии. -М.: Энергия, 1970. - 424с.

4. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1- Номинальные сечения основных, нулевых и жил заземления

Жила	Номинальное сечение, мм ²										
Основная	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Нулевая	6	10	16	16	25	25	35	35	50	50	70
	-	-	-	-	-	35	50	70	70	95	120
Заземления	4	6	10	16	16	25	35	35	50	50	70

Таблица 2- Буквенные индексы, обозначающие материалы и конструкцию элементов кабелей с бумажной и пластмассовой изоляцией

Индекс	Место расположения индекса в марке кабеля	Значение индекса	Пример марок
1	2	3	4
Токопроводящая жила			
А	На первом месте	Алюминиевая	ААБЛУ, ААШвУ, АСБУ
Нет	-----	Медная	АБЛУ, СБУ, ВВГ
(ож)	В конце обозначения	Однопроволочные жилы	ААБЛУ, 3*120 (ож), ААШвУ 3*95 (ож)
Изоляция жил			
Нет	-----	Бумажная с вязкой пропиткой	ААБЛУ, СБУ, ААШвУ
В	В конце обозначения через дефис	Бумажная с обедненной пропиткой	ААБЛУ-В, СБУ-В, АСБУ-В
Ц	Впереди обозначения	Бумажная с нестекающей пропиткой	ЦААБЛ, ЦСБ, ЦАСБ
В	После индекса жил	Из поливинилхлорида	само, ВВГ
П	То же	Из полиэтилена	АПВГ, ПВГ
з	В конце обозначения	Заполнитель из поливинилхлорида	АВВГз, ВВГз
У	То же	Бумажная с повышенными температурами нагрева	ААБЛУ, ААШвУ, ААШпсУ
Пс	В середине обозначения	Из самозатухающего полиэтилена	АпсВГ

1	2	3	4
Пв	То же	Из вулканизованного полиэтилена	АпвВГ
Пвс	То же	Из вулканизованного замозатухающего полиэтилена	АПвсВГ
Р	То же	Из резины	НРГ, ВРГ
Рт	То же	Из резины повышенной теплостойкости	НРтГ, ВРтГ
Оболочка			
А	На первом или втором месте	Алюминиевая	ААБЛУ, ААШпсУ, АБЛУ
С	На первом или втором месте	Свинцовая	АСБУ, АСШвУ, СБУ
В	В середине обозначения	Поливинилхлоридная	АВВГ, АПВБбШв, ПВГ
П	То же	Полиэтиленовая	АВПГ, АППБ, АППГ
Г	После индекса оболочки	Кабель без защитного покрова	СГУ, АСГУ, ПВГ
Н	На первом или втором месте	Не распространяющая горение резиновая	НРГ, АНРГ
О	То же	Отдельная оболочка каждой жилы	АОСБУ, ОСБУ
Подушка под броней			
Нет		Крепированная бумага, пропитанная битумом	АСБУ, СБУ, АСБГ
л	После индекса брони	Крепированная бумага, пропитанная битумом, и одна пластмассовая лента	АСБЛУ, ААБЛУ
2л	То же	Крепированная бумага, пропитанная битумом, и две пластмассовые ленты	ААБ2л, АСБ2ЛУ
В	То же	Выпрессованный поливинилхлоридный шланг	ААБпУ, АВвУ

п	То же	Выпрессованный полиэтиленовый шланг	ААБпУ, АБпУ
б	То же	Без подушки	ААБбУ, АВВБбШв
Броня			
Б	После индекса оболочки	Плоские стальные ленты	ААБлУ, АСБУ, АВВБбШвУ
П	То же	Стальные оцинкованные плоские проволоки	ААПлУ, АСПлУ, СПлУ
К	То же	Стальные круглые оцинкованные проволоки	СКУ, АСКУ
Наружный покров			
Нет	То же	Пропитанная битумом кабельная пряжа	ААБлУ, АСБУ, АВВБ
Г	После индекса брони	Без наружного покрова на броне	СБГУ, АСБГУ, ААБлГУ
н	После индекса брони	Негорючий состав из стеклянной ленты или пряжи	ААБлнУ, АСБнУ
Шп	То же	Полиэтиленовый шланг	ААШпУ, АВВбШп, АСШп
Шв	То же	Поливинилхлоридный шланг	ААШвУ, ААБлШвУ
Шпс	То же	Шланг из самозатухающего полиэтилена	

Таблица 3 - Пределы измерений и основные погрешности мегомметров

Тип мегомметра	Номинальное напряжение, В	Диапазон измеряемых сопротивлений, МОм	Участки диапазона с относительной погрешностью		Примечание
			менее 15%	менее 30%	
1	2	3	4	5	6
Ф 4102М/1	100	0-30	-	0 03-30	
		0-2000	-	30.1000	
	500	0-150	-	0 15 150	
		0-10000	-	150-5000	
	1000	0-300	-	0,3-300	
		0 2000	-	300 10000	
Ф 4102М/2	1000	0.2000	75-1000		
		0-20000	750-4000		
	2500	0-5000	190-2500		
		0-50000	1900-10000		
Ф 4108М/1.2	1000, 2500	0-50			Относительная погрешность измерения на отмеченных участках шкалы не более 10%
		5-100	5-50		
		50-1000	50-500		
		500-10000	500-5000		
ЭС0202/1 ЭС0202/2	100	0-1000	0.05-1000		
	250	0 1000	0,05-1000		
	500	0-1000	0,05 1000		
	500	0 10000	0,5-10000		
	1000	0-10000	0,5-10000		
	2500	0-10000	0,5-10000		

Таблица 4 - Значения ϵ_r и $\operatorname{tg}\delta$ для силовых кабелей с различной изоляцией.

Тип кабеля	$\operatorname{tg}\delta$	ϵ_r
<i>Кабели с пропитанной бумажной изоляцией</i>		
С вязкой пропиткой, с полностью или предварительно пропитанной изоляцией или пропитанные нестекающей массой	0,01	4
Маслонаполненные низкого давления	0,004-0,0045	3,3-3,75
Маслонаполненные высокого давления в стальном трубопроводе	0,0045	3,7
Газонаполненные	0,004-0,0045	3,4-3,5
<i>Кабели с изоляцией из других материалов</i>		
Из резины на основе бутилкаучука	0,05	4,5
Из этиленпропиленовой резины	0,04	3
Из поливинилхлорида	0,1	8
Из сшитого полиэтилена	0,0008	2,5
Из термопластичного полиэтилена	0,001	2,3

Таблица 5 - Основные характеристики моста Р5026 (диапазоны измерений при высоком напряжении)

Пределы измерения		Пределы рабочего напряжения	Положение переключателя		Формулы расчёта		I _{Cx} max, А
C _x	tgδ		«А»	«N»	C _x , мкФ	tgδ _x	
10-1000	1*10 ⁻⁴ – 0,1	5-10	1	0,1	0,1C ₀ $\frac{R_4}{R_3}$	0,1C ₄	3*10 ⁻³
100 - 10000	1*10 ⁻⁴ -1,0	3-10	1	1	C ₀ $\frac{R_4}{R_3}$	C ₄	3*10 ⁻²
10 ⁴ -10 ⁵			2	1	200C ₀ $\frac{150-S+R_3}{R_3}$	C ₄	3*10 ⁻¹
10 ⁵ -10 ⁶	5*10 ⁻⁴ -1,0	3-5	3	1	2000C ₀ $\frac{150-S+R_3}{R_3}$	C ₄	3
650—2*10 ⁵	5*10 ⁻³ -0,1	<0,1	4	0,1	4*10 ⁻⁴ $\frac{R_4}{R_3}$	0,1 C ₄	4*10 ⁻³
6500-2*10 ⁶	5*10 ⁻³ -1,0		4	1	4*10 ⁻³ $\frac{R_4}{R_3}$	C ₄	3*10 ⁻²
2*10 ⁶ -5*10 ⁸			5	1	$\frac{R_4}{R_3}$		2*10 ⁻¹

На пределе А1: $\text{tg}\delta (-) = - \text{tg}\delta \frac{R_3}{R_4}$.

На пределах А2 и А3: $\text{tg}\delta (-) = - \text{tg}\delta \frac{R_3}{R_4} \frac{150}{150 + R_3}$.

Обозначения: C₀ – ёмкость образцового конденсатора Р 5023, пФ; C₄ - отсчёт ёмкости магазина плеча Z₄ моста, мкФ; R₃ – отсчёт сопротивления магазина плеча Z₃ моста, Ом;

Таблица 6 - Расчётные значения термического коэффициента С для кабелей с алюминиевыми жилами

Тип кабеля	Допустимая температура, °С		Загрузка линии до момента к.з.			
	длительная	при к.з.	0,5 Р _н	0,65Р _н	0,75Р _н	Р _н
1	2	3	4	5	6	7
С бумажной изоляцией напряжением: 35 кВ 20 кВ 10 кВ 6 кВ	50 55 60 65	125 125 200 200	86/84 86/83 107/105 106/105	84/82 82/81 104/103 103/102	81/80 80/78 101/101 100/100	73/74 70/71 94/95 92/93
С изоляцией из полиэтилена и поливинилхлорида	70	120 130 160	82/79 86/83 95/94	77/75 81/79 91/90	73/72 77/76 88/87	59/60 64/65 77/78
С бумажной изоляцией на 1 кВ	80	200	105/103	100/100	97/97	85/87
С изоляцией из вулканизированного полиэтилена	90	250	114/113	110/109	109/106	95/96

Примечание : В числителе указаны значения для температуры окружающей среды $T_0=15^{\circ}\text{C}$, в знаменателе - $T_0=25^{\circ}\text{C}$.

Таблица 7 - Допустимые токи для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией

Номинальные сечения токопроводящих жил, мм ²	Допустимый ток однофазного короткого замыкания, КА для кабелей на напряжение			
	1 - 6 кВ		10 кВ	
	Медные жилы	Алюминиевые жилы	Медные жилы	Алюминиевые жилы
6	0,77	0,55	0,81	0,53
10	1,29	0,85	1,35	0,89
16	2,06	1,36	2,16	1,42
25	3,21	2,12	3,37	2,23
35	4,5	2,97	4,72	3,12
50	6,43	4,25	6,74	4,45
70	9,0	5,94	9,43	6,23
95	12,21	8,06	12,8	8,46
120	15,42	10,19	16,17	10,69
150	19,28	12,73	20,21	13,36
185	23,78	15,71	24,93	16,47
240	30,84	20,4	32,34	21,37

Примечание: при других значениях длительности к.з. значения допустимых токов к.з. указанные в таблице 7 необходимо умножить на коэффициент

$$k = \sqrt{\frac{1}{\tau_k}}, \text{ где } \tau_k \text{ продолжительность к.з. в секундах.}$$

Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость тока нагрузки от температуры окружающей среды, приведены в табл. 8, а поправочные коэффициенты, учитывающие предварительную токовую нагрузку кабеля перед к.з. – в табл.9.

Таблица 8 - Поправочные коэффициенты, учитывающие зависимость тока нагрузки от температуры окружающей среды

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Значение коэффициента в зависимости от температуры окружающей среды, °С										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	Прокладка на воздухе										
1 - 6	1,2	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74
10	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
	Прокладка в земле										
1 – 6	1,11	1,08	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
10	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,74	0,67	0,6

Таблица 9 - Поправочные коэффициенты, учитывающие предварительную токовую нагрузку кабеля перед коротким замыканием

Номинальное напряжение кабеля, кВ	Значение коэффициента в зависимости от коэффициента нагрузки кабеля, $I/I_{дон}$						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1 – 6кВ при прокладке:							
на воздухе	1,22	1,2	1,17	1,14	1,1	1,05	1
в земле	1,26	1,24	1,2	1,16	1,11	1,06	1
10 кВ при прокладке:							
на воздухе	1,17	1,15	1,13	1,11	1,07	1,04	1
в земле	1,21	1,19	1,16	1,13	1,09	1,05	1

Таблица 10 - Секторные алюминиевые жилы кабелей напряжением 1-10кВ.

Конструкция кабеля и жилы	Высота h, мм / ширина b, мм для жил сечением мм ²							
	35	50	70	95	120	150	185	240
Трехжильные од- нопроволочные, 1 –10кВ	<u>5,5</u> 9,2	<u>6,4</u> 10,5	<u>7,6</u> 12,5	<u>9,0</u> 15	<u>10,1</u> 16,6	<u>11,3</u> 18,4	<u>12,5</u> 20,7	<u>14,4</u> 23,8
Трехжильные мно- гопроволочные, 1-10кВ	<u>6</u> 10	<u>7</u> 12	<u>9</u> 14	<u>10</u> 16	<u>11</u> 18	<u>12</u> 20	<u>13,2</u> 22	<u>15,2</u> 25
Четырехжильные однопроволочные, 1кВ	<u>-</u> -	<u>7</u> 10	<u>8,2</u> 12	<u>9,6</u> 14.1	<u>10,8</u> 16	<u>12</u> 18	<u>13,2</u> 18	<u>-</u> -

Таблица 11 - Значения коэффициентов укорочения и волновых сопротивлений

№ п/п	Тип линии	Коэффициент укорочения	Волновое сопротивление, Ом
1	Силовые высоковольтные кабели ти- па СБ, ОСБ, ОАБ,СБС 3-6-10-35- 110кВ	1,87	25-35
2.	Воздушные линии электропередачи 35-110-220-400кВ	1,0	400
3	Коаксиальные кабели с полиэтиле- новой изоляцией (РК-50-2-11 и др.)	1,52	50

Таблица 12 - Значения коэффициентов укорочения и волновых сопротивлений

Тип линии	Коэффициент укорочения			Волновое сопротивление, Ом		
	Средний провод-два крайних	Провод- провод крайний	Три про- вода - земля	Средний провод-два крайних	Провод- провод крайний	Три провода - земля
Воздушные од- но цепные ли- нии электропе- редачи:						
110кВ	1	1,01	1,06-1,04	330-380	380-410	610-650
220кВ	1	1,01	1,06-1,02	350	410	650
330кВ	1	1,01	1,08-1,03	260	300	485
500кВ	1	1,02-1,83	1,09-1,04	245	280	445
Силовые трёх- жильные ка- бельные линии с жилой по- ясной изоляци- ей СБ, ААБ, СГТ и др.	1,87-1,83	1,87-1,83	1,97-1,89	8-30	8-30	12-60

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Изучение конструкции силовых кабелей.....	3
Лабораторная работа 2. Измерение сопротивления изоляции силовых кабелей	10
Лабораторная работа 3. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь и ёмкости изоляции.....	21
Лабораторная работа 4. Определение целости жил кабелей и фазировка кабельных линий.....	27
Лабораторная работа 5. Определение вида и места повреждения в кабельных линиях петлевыми методами.....	39
Лабораторная работа 6. Определение мест повреждения в кабельных линиях импульсным методом.....	48
Лабораторная работа 7 Аварийные режимы в городских электрических сетях.....	61
Список литературы	65
Приложение.....	66

Учебное издание

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Кабельные и воздушные линии электропередачи» (для студентов 4 курса дневной и заочной форм обучения специальности 6.090603 - «Электротехнические системы электропотребления»)

Составитель: Евгений Дмитриевич Дьяков

Редактор: Н.З.Алябьев

План 2007, поз.162-М

Подп. к печати 03.12.2007	Формат 60×84 1/16	Бумага офисная
Печать на ризографе.	Усл.-печ. лист. 3,0	Обл.- изд. лист. 3,5
Зак. №	Тираж 200 экз.	

61202, Харьков, ХНАГХ, ул. Революции, 12

Сектор оперативной полиграфии ИВЦ ХНАГХ
61202, Харьков, ХНАГХ, ул. Революции, 12